



MODERNIZAÇÃO DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DO IPT*

Ana Paola Villalva Braga¹
 Alexandre Gonçalves²
 Mario Boccalini Júnior³
 Roberto Martins de Souza⁴
 Cláudia Regina Serantoní⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar as soluções implementadas para modernização e automação do laminador piloto do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, importante ferramenta de pesquisa do seu Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais. O IPT, em parceria com o Laboratório de Fenômenos de Superfície da EPUSP, tem trabalhado nas duas últimas décadas com o desenvolvimento de ligas resistentes a desgaste, principalmente para uso em cilindros de trabalho para laminação a quente. Com recursos provenientes de projeto co-financiado pelo BNDES e pela Gerdau, o laminador piloto e o forno de indução para aquecimento de placas foram reformados e modernizados, permitindo que a célula de laminação trabalhe de forma autônoma e que os dados de processo sejam continuamente registrados. Nesse projeto estão sendo conduzidos ensaios de laminação de longa duração para caracterizar e quantificar o dano progressivo imposto aos cilindros pela laminação a quente de placas de aço carbono sob condições controladas de temperatura e grau de deformação e de refrigeração dos cilindros. A modernização do laminador envolveu 3 etapas: reforma e automação do laminador e do forno de aquecimento; montagem do sistema de refrigeração dos cilindros e instrumentação dos cilindros de trabalho.

Palavras-chave: Laminação a quente; Automação; Instrumentação; Ligas resistentes a desgaste.

MODERNIZATION OF THE HOT STRIP ROLLING MILL OF IPT

Abstract

The objective of this paper is to present the solutions implemented for modernization and automation of the pilot rolling mill on IPT. The Institute for Technological Research of the State of São Paulo-IPT, in partnership with the Polytechnic School of the University of São Paulo, with support from Gerdau and BNDES, has been working during the past two decades with the development of wear-resistant alloys, primarily for use in work rolls for hot rolling. In order to conduct rolling tests to observe the roll damage resultant from successive hot rolling of carbon steel plates under controlled and monitored speed, load and temperature conditions, the IPT mill was revamp and modernized, so that the rolling cell can work autonomously, controlling and recording process data during the tests. The modernization of the mill was carried out in 3 steps: revamp and automation of the rolling mill and the heating furnace; assembly of the roll cooling system and instrumentation of the rolling mill to acquire load and temperature data.

Keywords: Hot rolling; Automation; Instrumentation; Wear resistant alloys.

¹ Engenheira de materiais, Mestre, Pesquisadora assistente, Laboratório de Processos Metalúrgicos, Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, São Paulo, Brasil.

² Tecnólogo em Mecânica de Precisão, Pesquisador assistente trainee, Laboratório de Metrologia Mecânica, Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Fluidos, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, São Paulo, Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Doutor, Pesquisador/Diretor, Laboratório de Processos Metalúrgicos, Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, São Paulo, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Doutor, Professor, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

⁵ Engenheira Metalurgista, Doutora, Gerente de Desenvolvimento de Aços Especiais Brasil/ Departamento de Inovação e Tecnologia/ Gerdau Aços Especiais Pindamonhangaba, Pindamonhangaba, Brasil.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Com a participação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, da Escola Politécnica da USP e, como co-financiadores, do BNDES e da Gerdau, teve início em 2012 um projeto cujo objetivo é desenvolver um sistema para projetar ligas destinadas a ferramentas de conformação a quente. O sistema baseia-se na simulação computacional do dano progressivo das ferramentas durante o serviço e da relação desse dano com a microestrutura da liga.

O projeto envolve a simulação do comportamento do material da ferramenta frente às solicitações termomecânicas e tribológicas impostas a ela pelo processo de conformação e sua validação experimental por meio de ensaios de longa duração em células-piloto de laminação, de forjamento e de fundição sob pressão disponíveis no IPT.

Ao longo de 2013, a célula-piloto de laminação, que compreende laminador Stanat duo/quádruplo reversível com capacidade de 50 tf e forno de indução Cheston-Inductotherm com 250 kVA de potência, ambos fabricados na década de 1970, passou por extensa modernização que a permite trabalhar de forma autônoma, com dados de processo continuamente registrados. Paralelamente, desenvolveram-se técnicas para a medição contínua da temperatura dos cilindros de trabalho durante os ensaios, dado crítico para a validação do modelo de simulação.

O objetivo deste trabalho é apresentar as soluções implementadas para modernização, automação e instrumentação da célula-piloto de laminação do Centro de Tecnologias em Metalurgia e Materiais do IPT.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A modernização da célula-piloto de laminação compreendeu 3 atividades:

2.1 Reforma e Automação

A reforma e automação incluiu a troca de todo o conjunto elétrico do laminador, além de reparos e substituições de itens desgastados do conjunto mecânico, bem como a atualização dos componentes do forno de indução para possibilitar sua integração com o CLP do laminador. Foram mantidas as características principais de funcionamento no modo manual e incorporados os controles necessários para a integração do laminador com o sistema de alimentação de peças no modo automático. Mantiveram-se também o alojamento das células de carga (uma em cada fuso de apoio do cilindro) e o sistema de aquisição de dados por meio de PC.

A Figura 1 mostra uma vista geral da célula de laminação, com destaque para o laminador após a manutenção e reforma dos sistemas mecânico e elétrico. A célula de laminação conta com um sistema de supervisão cujas principais funções são monitorar o processo, criar receitas de parametrização do laminador, armazenar dados das principais variáveis durante o processo, gerar relatórios e mostrar alarmes. O movimento vertical do cilindro de trabalho superior para controle da abertura entre os rolos se dá através da ação de um servo-motor controlado via CLP. O servo-motor pode ser mantido ligado para operação em modo automático, controlando de forma autônoma os passes de laminação, ou ser desligado para operação manual, especialmente quando do alinhamento dos cilindros. A força nos fusos de apoio do cilindro superior é medida por meio de duas células de carga HBM modelo KMR 400 kN.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

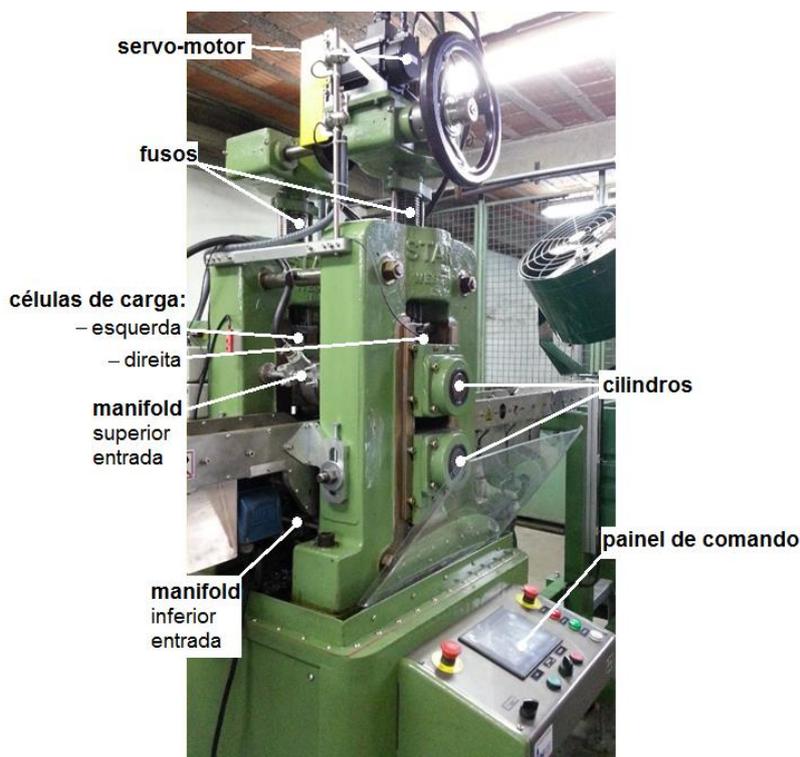


Figura 1. Vista geral da célula de laminação, com destaque para o laminador.

O alimentador do forno de aquecimento possui uma esteira de rolos que movimenta um magazine com pilhas verticais de placas, alinhando-as com o eixo longitudinal do forno. Cada magazine tem capacidade para 96 placas, distribuídas em 4 colunas de 24 placas cada. Um elevador movimenta as placas verticalmente até que a primeira delas esteja em posição para ser empurrada para dentro do forno e, ao mesmo tempo, empurra a placa no interior do forno, já aquecida, para a esteira de entrada do laminador.

A esteira de entrada do laminador faz a movimentação da placa entre o forno e o laminador, no primeiro passe de laminação, e a movimentação do esboço durante os demais passes de laminação, invertendo a rotação de forma a acompanhar o sentido de laminação. Além do motor para movimentação dos rolos, o conjunto possui 3 atuadores pneumáticos para centralização da placa ou esboço na esteira.

A esteira de saída do laminador faz a movimentação da peça entre o laminador e a caçamba de esboços laminados, invertendo a rotação quando necessário. Essa esteira é formada por dois conjuntos independentes. O primeiro possui o motor para movimentação dos rolos da esteira e 3 atuadores pneumáticos para centralização da peça na esteira. O segundo possui o motor para movimentação dos rolos e um atuador pneumático para ejeção do esboço laminado, lançando-o no interior de caçamba.

As Figuras 2 e 3 mostram detalhes do alimentador do forno de aquecimento e da esteira de entrada do laminador.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

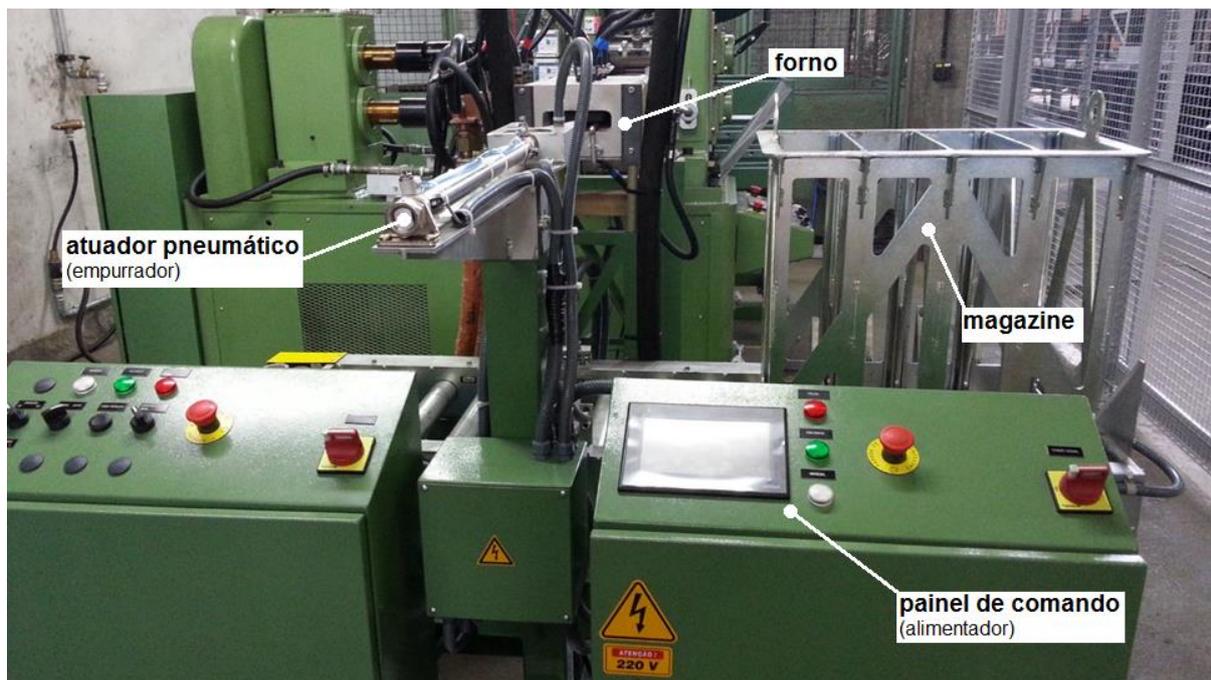


Figura 2. Alimentador automático de peças.

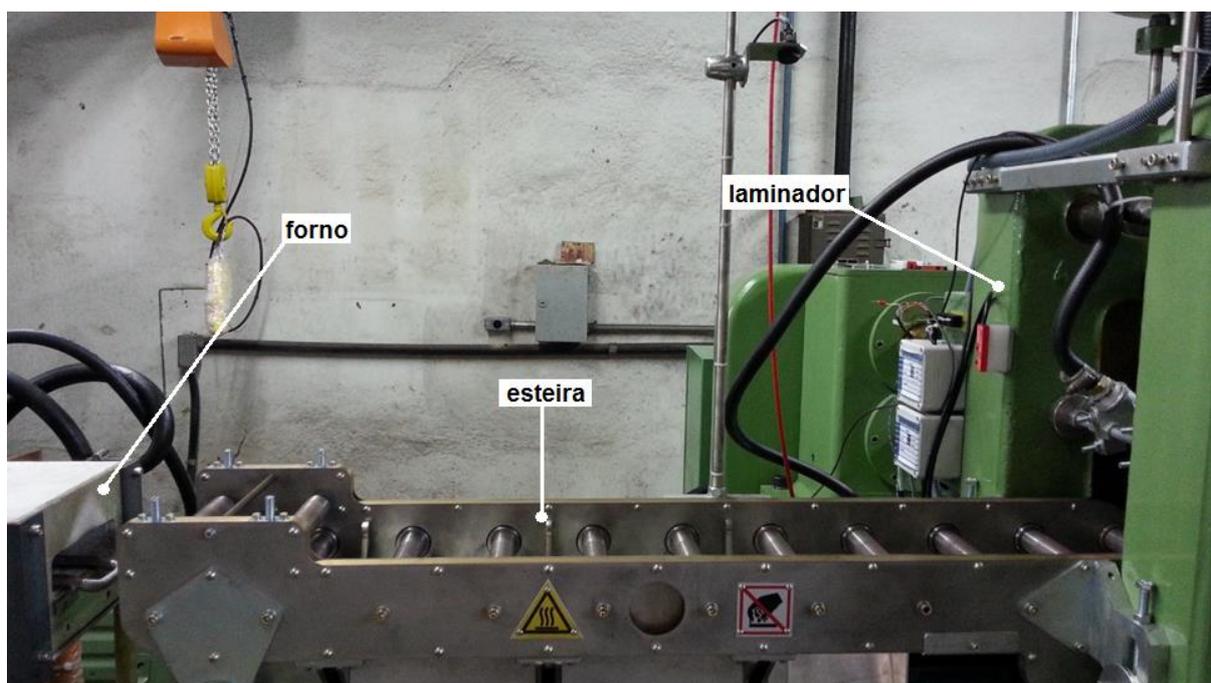


Figura 3. Esteira de entrada do laminador.

2.2 Refrigeração dos Cilindros

O sistema de refrigeração dos cilindros é alimentado por bombeamento a partir de torre de resfriamento de água e circuito contendo filtros e válvulas tipo globo e esférica. O controle da vazão é realizado por meio do ajuste da abertura de duas válvulas esféricas, uma para cada par de *manifolds*. Essas válvulas estão afixadas na estrutura do laminador e permitem o controle da vazão na entrada e na saída da cadeira de laminação.

A refrigeração dos cilindros é realizada por meio de 4 *manifolds* fixados na cadeira do laminador, cada um com 3 *spray headers* posicionados a 15° de inclinação em

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



relação à geratriz do cilindro. As posições dos bicos são ajustadas conforme o cilindro instalado, tendo como critério a cobertura da maior área possível do cilindro com filme d'água, para maior eficiência no arrefecimento. O sistema é mostrado em operação na Figura 4. Em cada par de manifolds (esquerdo e direito) o jato d'água é acionado durante a laminação da placa, no sentido da laminação, garantindo a refrigeração do cilindro imediatamente após o contato com o laminado.



Figura 4. Sistema de refrigeração dos cilindros, acionado durante um passe de laminação.

2.3 Instrumentação dos Cilindros

O cilindro possui, na região da mesa, diâmetro nominal de $\varnothing 127$ mm e comprimento de 203 mm, e seu comprimento total é de 640 mm. O projeto de instrumentação do cilindro de laminação utilizado durante os ensaios de laminação é mostrado na Figura 5. Os conceitos de utilização e instalação de inserto, bem como a concepção da fixação dos termopares neste inserto, basearam-se em trabalhos anteriores [1,2]. Os sinais dos termopares são transmitidos do cilindro para o sistema de aquisição via conector rotativo de contato (*slip ring*) Michigan Scientific modelo SR36M, com 36 canais. A Figura 6 apresenta detalhe da montagem do inserto instrumentado no cilindro de laminação.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

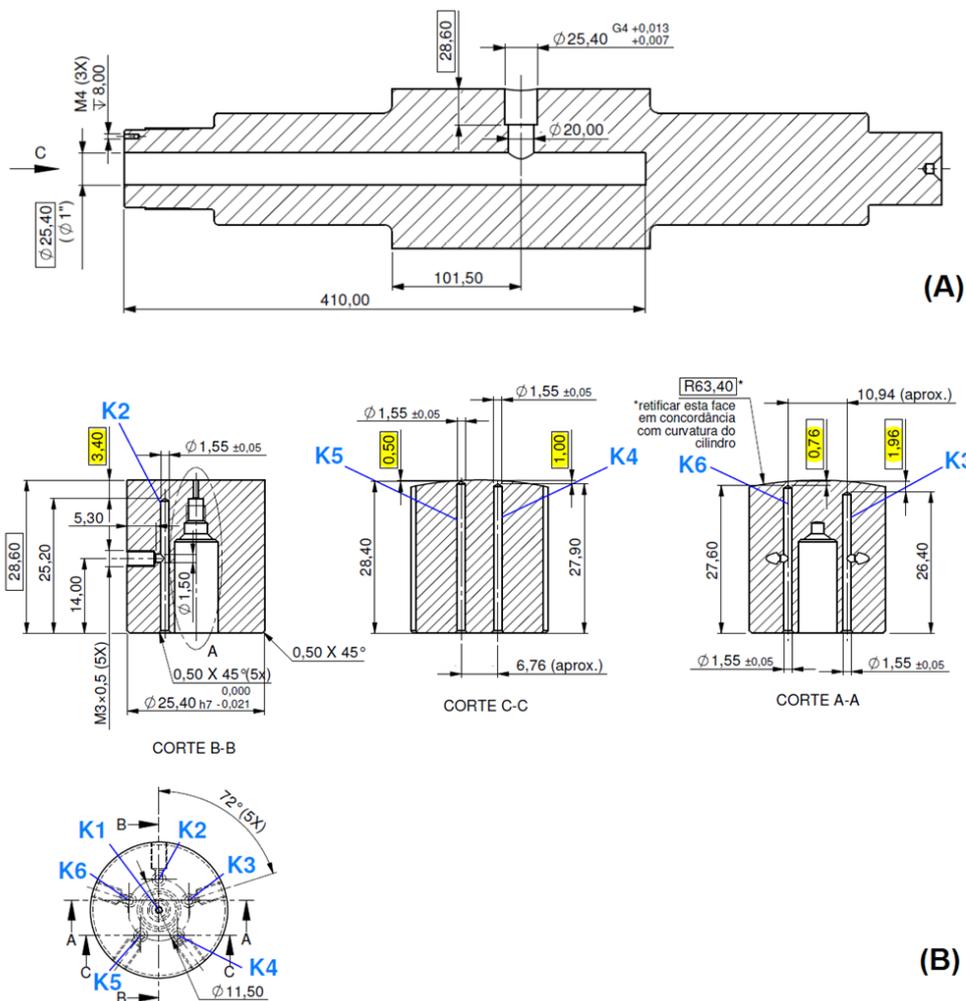


Figura 5. Projeto de cilindro de laminação instrumentado. (A) Furação do cilindro para instalação do inserto; (B) Inserto e furação para instalação de termopares.

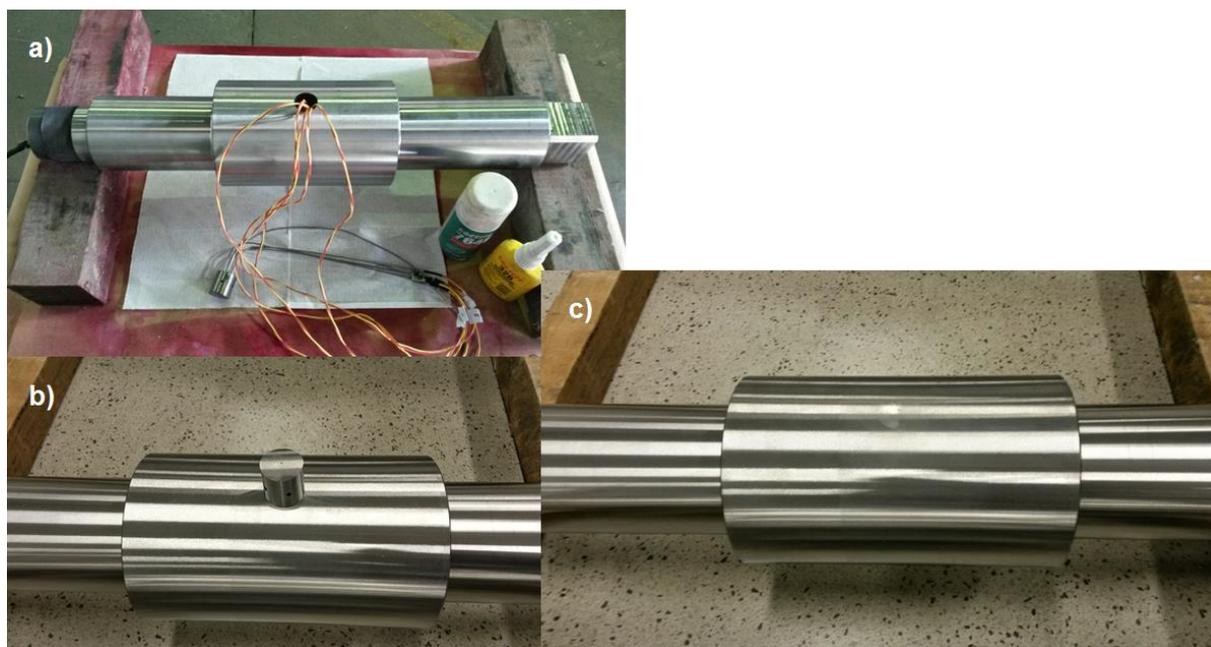


Figura 6. Etapas de montagem do inserto instrumentado: a) passagem dos cabos de extensão; b) encaixe do inserto após aplicação de cola para fixação; c) fechamento.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Os termopares inseridos no inserto são de dois tipos:

- Superficial: termopar tipo K com ponta usinável, Marca SAWI, bainha de aço inoxidável com $\varnothing 1,00$ mm \times 35,00 mm, pote com $\varnothing 3,00$ \times 20,00 mm e comprimento total 500 mm;
- Em profundidade: termopar tipo K com isolamento mineral, Marca Ecil, aterrado, sem pote, bainha de aço inoxidável com $\varnothing 1,50$ mm \times 300,00 mm e 1000 mm de cabo de extensão.

Para efeito de rastreamento dos dados adquiridos, os termopares foram nomeados de K1 a K6. A profundidade de cada termopar com relação à superfície do cilindro de laminação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Profundidades de cada termopar com relação à superfície do cilindro.

termopar	profundidade (mm)
K1	0
K5	0,50
K6	0,76
K4	1,00
K3	1,96
K2	3,40

O sistema de aquisição de dados HBM é composto por dois módulos: modelo MX840A, de uso geral, onde foram conectadas as células de carga, e modelo MX-1609, específico para conexão de termopares tipo K, através de miniconector compensado padrão. Os cabos de extensão são conectados do cilindro de laminação para o sistema de aquisição através do conector rotativo.

2.4 Laminação

Nos ensaios de laminação foram laminadas placas de Aço AISI 1045 com dimensões nominais de 280 mm \times 90 mm \times 19 mm. Para cada placa foram realizados 5 passes de laminação, com redução de 15 % em cada passe. A temperatura de aquecimento das placas esteve sempre entre 1230 °C e 1270 °C. A temperatura na placa foi monitorada por meio de pirômetro ótico apontado para a esteira, na região de entrada da cadeira de laminação, permitindo acompanhar a temperatura da placa na entrada (passe "0"), após o segundo passe e após o quarto passe.

Alguns parâmetros básicos utilizados nos experimentos são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Parâmetros utilizados

\varnothing mesa	Rotação	velocidade linear*	Tempo médio do arco de contato*	Período*	Taxa de aquisição de dados
127 mm	27 RPM	0,18 m/s	91 ms	2,21 s	600 Hz

*calculado.

O laminador foi utilizado na configuração duo e a temperatura do cilindro superior foi monitorada com o sistema apresentado no item 2.3.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referem-se a ensaio de laminação de 25 placas. Dados de força de laminação e da evolução da temperatura na placa obtidos para as placas 10^a. à 15^a. são apresentados na Figura 7. No gráfico, são apresentadas as temperaturas das placas nas entradas do 1^o, 3^o e 5^o passes.

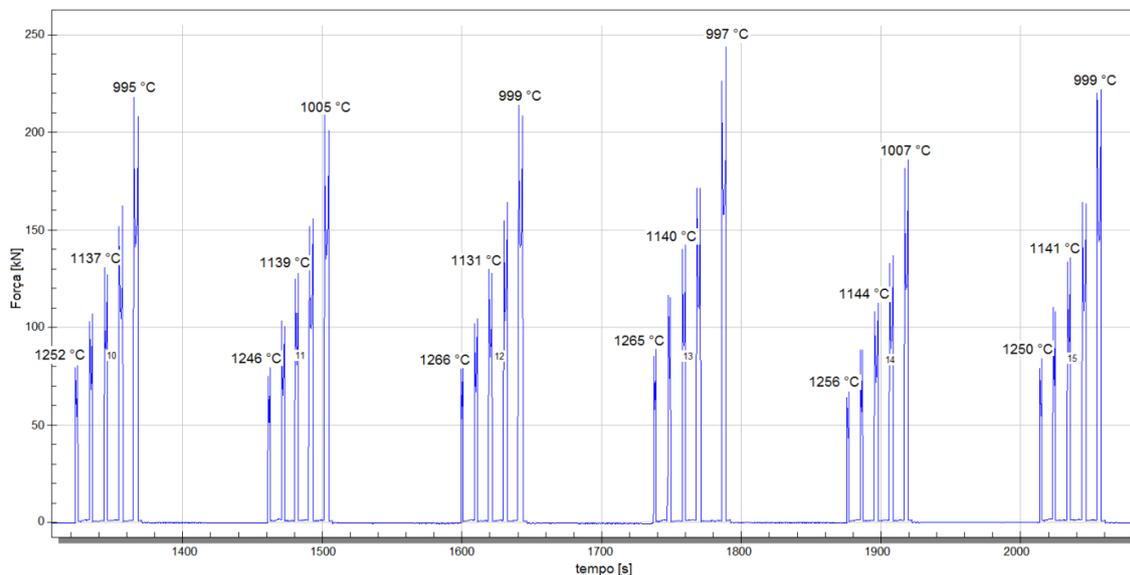


Figura 7. Força de laminação e evolução da temperatura da placa ao longo dos passes de laminação (placas de N.º. 10 a 15).

Dados de temperatura do cilindro, obtidos para o mesmo intervalo de placas, são apresentados na Figura 8.

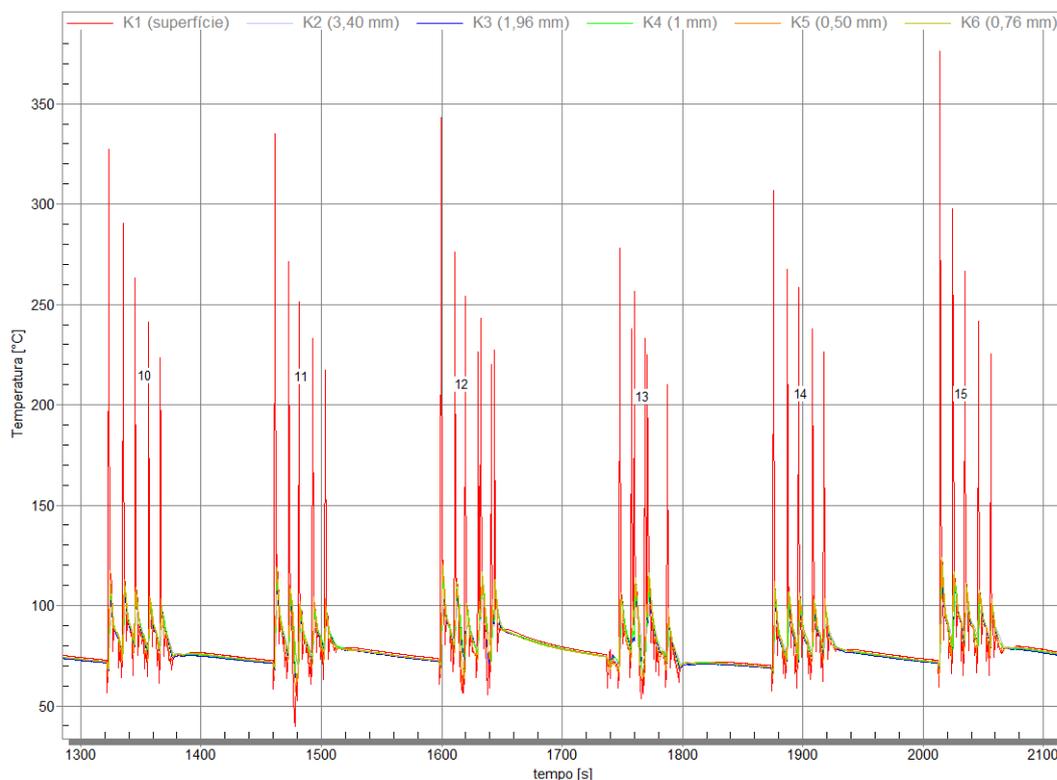


Figura 8. Dados de temperatura obtidos do cilindro instrumentado.



Observa-se elevado gradiente de temperatura entre a superfície do cilindro e a região imediatamente abaixo dele, o que é fator determinante para a geração de trincas de fadiga térmica.

A Figura 9 apresenta detalhes dos dados de temperatura referentes ao primeiro passe de laminação da placa N°. 14. Adicionalmente, associam-se as singularidades das curvas de temperatura aos “eventos térmicos” a que o cilindro está submetido.

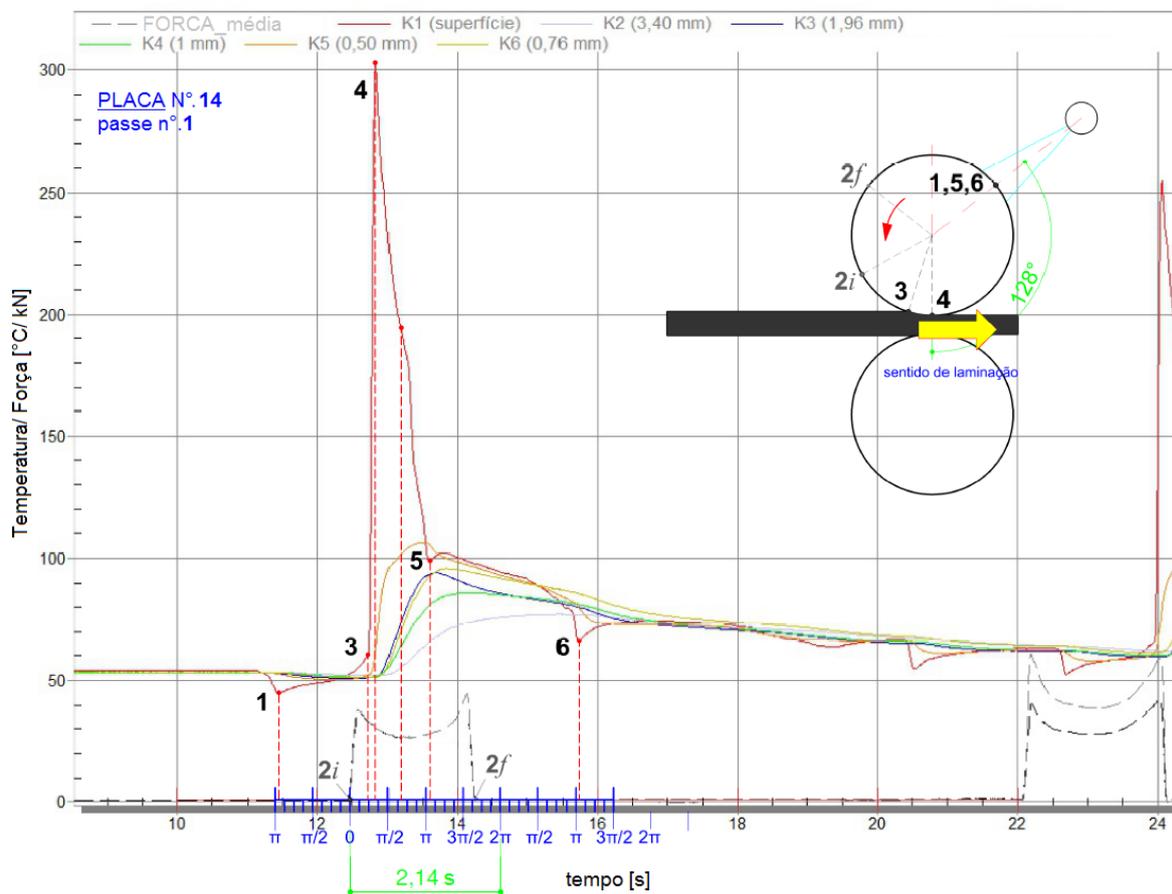


Figura 9. Dados de temperatura e força obtidos do primeiro passe da placa N°. 14.

Os vales 1, 5 e 6 correspondem aos dados obtidos pelo termopar de superfície ao passar pela refrigeração. O intervalo entre os vales corresponde ao período real de revolução do cilindro durante o passe, neste caso 2,14 s. A posição 3 corresponde ao início do arco de contato, e a posição 4, ao final deste arco, com um pico de temperatura. A posição 2i marca a entrada da placa entre os cilindros, e a posição 2f, a saída da placa. Tais posições são indicadas na curva de força média apresentada na Figura 9, na mesma escala da ordenada temperatura. Estes resultados são comparáveis a Stevens *et al.* em trabalho similar [3].

As últimas cinco placas deste ensaio foram laminadas com a refrigeração dos cilindros desligada e os dados de temperatura obtidos são mostrados na Figura 10. Estes dados deixam claro que os vales observados no gráfico da Figura 9 são de fato devidos a passagem do termopar pela refrigeração.

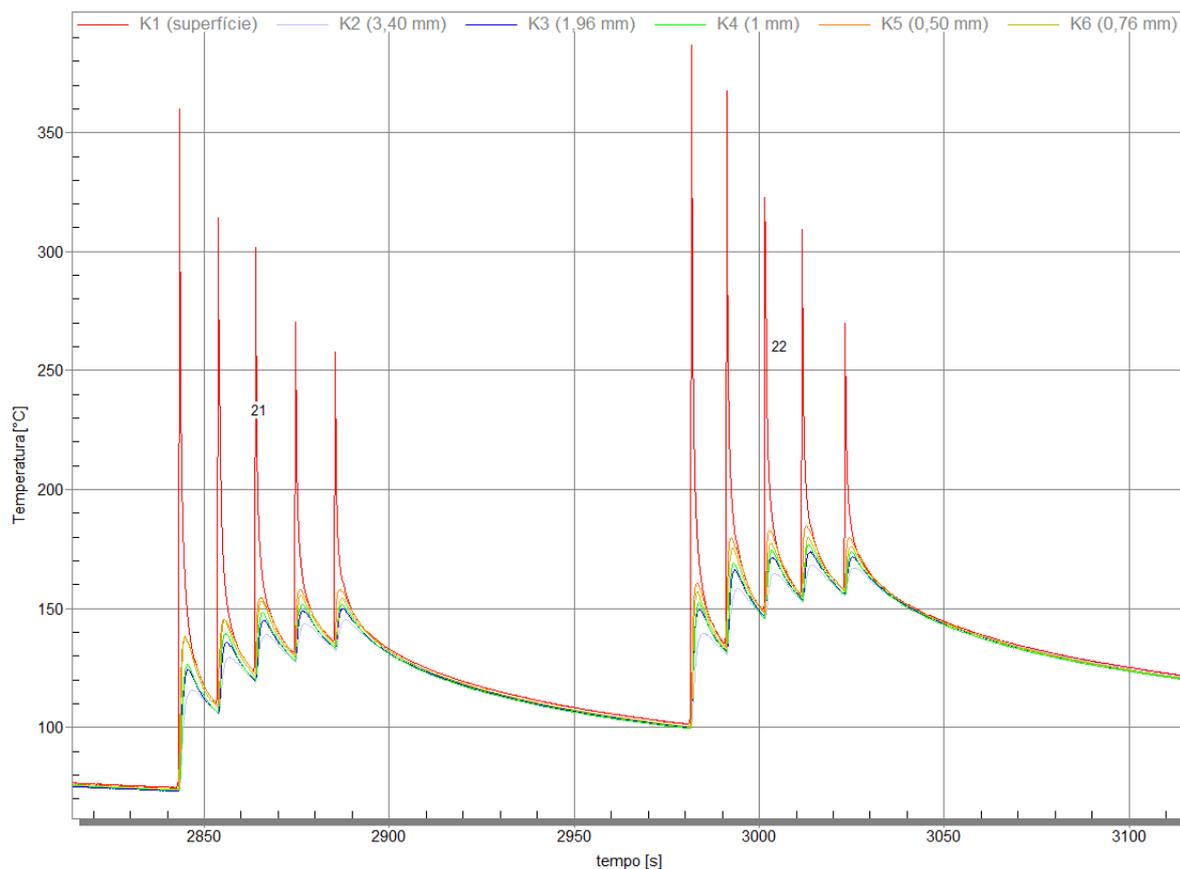


Figura 10. Dados de temperatura obtidos de 5 passes das placas N°. 21 e 22.

Além disso, observa-se que a temperatura no interior do cilindro, medida pelos termopares abaixo da superfície, sobe rapidamente na situação em que não há refrigeração. Enquanto estas temperaturas se mantinham predominantemente abaixo de 100°C quando utilizada a refrigeração, na segunda placa laminada sem refrigeração ultrapassaram 150°C.

4 CONCLUSÃO

O trabalho permitiu a operação do laminador piloto de forma totalmente autônoma, além da possibilidade de controle do processo. Além disso, o monitoramento do gradiente de temperatura do cilindro viabiliza o estudo de seu ciclo térmico gerado durante o processo, o que por sua vez viabiliza o estudo do fenômeno de fadiga térmica, típico de ferramentas de conformação a quente.

REFERÊNCIAS

- 1 Valyi R. Finite element modeling of the thermo-mechanical stress in hot rolling work rolls and experimental acquisition of their thermal field. Ecole Centrale de Lyon. Lyon. 2005;93.
- 2 Franco EE et al. Estudo experimental e numérico do gradiente de temperatura em um cilindro de laminação instrumentado. 44o. Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos. Campos do Jordão: [s.n.]. 2007; 842-851.
- 3 Stevens PG, Ivens KP, Harper P. Increasing work-roll life by improving roll-cooling practice. J. Iron and Steel Inst. 1971; 209:1-11.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.