

ANÁLISE DOS PROCESSOS DE LAMINAÇÃO A QUENTE NA USIMINAS VIA SIMULADORES COMPUTACIONAIS

Cristovão Nery Giacomini¹Antônio Adel dos Santos²Altair Lúcio de Souza³

Resumo

Mostram-se neste trabalho características básicas de oito simuladores computacionais desenvolvidos, na Usiminas, para a área de laminação a quente, sendo detalhados três deles: processo de laminação de acabamento de tiras a quente; reaquecimento de placas em fornos de viga móvel e processo de descaração hidráulica. Tais simuladores, construídos em plataforma visual, são uma poderosa ferramenta na análise do processo, voltada para aumento da capacidade de produção, da melhoria operacional e da qualidade dos produtos. A simulação *off line* com esta ferramenta tem permitido uma análise prévia ao processamento de um determinado aço, verificando, por exemplo, a limitação do equipamento e o efeito de alterações em variáveis operacionais nas condições térmicas e mecânicas do material. Na análise pós-processamento, os simuladores têm auxiliado na investigação de eventuais anormalidades operacionais.

Palavras-chave: Simuladores; Análise de processo; Laminação a quente.

PROCESS ANALYSIS OF STEEL HOT ROLLING AT USIMINAS THROUGH COMPUTER SIMULATORS

Abstract

This paper describes the fundamentals of eight computer simulators, developed in Usiminas, for the hot rolling area, three of them being described in more details: hot strip finishing rolling, reheating of slabs in walking beam type furnaces, and hydraulic descaling. The simulators serve as powerful tool for process analyses in terms of process capability, and enhancement of process and product quality. They were developed using a visual platform that allows for flexibility in the construction of interfaces, easy access by the user and a good view of results. Off line analyses with those simulators have permitted to evaluate the process, for instance, in terms of equipment capability and how changes in process variables alter thermo-mechanical properties of the material being rolled. They have also been used as pos-processing tool, giving information on occasional operating abnormalities.

Key words: Simulators; Process analysis; Hot rolling.

I INTRODUÇÃO

O uso de simuladores computacionais de fenômenos metalúrgicos e mecânicos tem se mostrado uma ferramenta poderosa para a análise e otimização de condições operacionais dos processos de usinas siderúrgicas.⁽¹⁾ Os benefícios potenciais de sua utilização incluem: redução da quantidade de experiências industriais, que são onerosas quando não inviáveis; maior entendimento do efeito de variáveis no processo; ganhos de produtividade; redução de custos de produção e melhoria da qualidade do produto. Além disso, tais simuladores servem de base para o desenvolvimento de sistemas de controle *on line*.

O desenvolvimento dos simuladores requer um conhecimento fundamental do processo em questão, dos fenômenos físicos que o envolvem e das ferramentas computacionais necessárias. Isto é particularmente importante para dimensionar suas fases de requisitos e de projeto de software. Os núcleos de cálculo desses simuladores são modelos matemáticos, associados normalmente a soluções numéricas, sobre os fenômenos relativos ao processo. Para o seu desenvolvimento, tem sido utilizada uma plataforma visual, que privilegia a usabilidade e a flexibilidade na construção das interfaces de apresentação dos resultados para o usuário.

¹Membro da ABM; Analista de Sistemas, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas. Av. Pedro Linhares Gomes, 5431, Cep 35160-900, Ipatinga, MG, Brasil. E-mail: cristovaogiacomini@gmail.com.

²Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, Dr., CQE/ASQ; Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas. Av. Pedro Linhares Gomes, 5431, Cep 35160-900, Ipatinga, MG, Brasil. E-mail: aasantos@usiminas.com.br.

³Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; CQE/ASQ; Gerência de Laminação a Quente da Usiminas; Av. Pedro Linhares Gomes, 5431, Cep 35160-900, Ipatinga, MG, Brasil. E-mail: alsouza@usiminas.com.br.

Neste contexto, têm sido desenvolvidos e aplicados simuladores computacionais na área de Laminação a Quente da Usiminas, focando nas várias etapas dos processos pertinentes às linhas de Tiras a Quente e de Chapas Grossas. Tem-se como objetivo final a integração dos simuladores, de forma que todos os fenômenos que ocorram, sejam de naturezas mecânica, térmica e metalúrgica, possam ser simulados *off line*. Trabalhos anteriores realizados na Usiminas já apresentam diversos desses simuladores.⁽²⁻⁶⁾

No presente trabalho são mostradas características gerais dos simuladores desenvolvidos, com ênfase em três deles: processo de laminação de acabamento de tiras a quente; reaquecimento de placas em fornos de viga móvel e processo de descarepação hidráulica.

2 SIMULADORES DESENVOLVIDOS

Os simuladores foram desenvolvidos em Microsoft Visual Basic 6.0, para computadores tipo PC com sistema operacional Windows 2000 ou versão superior. Devido ao objetivo da simulação ser *off line*, os simuladores não são alimentados com dados de processo em tempo real. Os tempos de simulação situam-se, normalmente, abaixo de 1 minuto, em PCs de configuração atual. Alguns simuladores foram desenvolvidos integralmente com a base de conhecimento existente na Usiminas, ou seja, desde sua concepção, formulações e soluções numéricas. Outros foram baseados em modelos de controle *on line* existentes, sendo agregadas diversas funcionalidades úteis à análise do processo. Do ponto de vista do usuário, a característica fundamental que torna muito fácil a aplicação dos simuladores são as interfaces amigáveis, dispensando a laboriosa entrada manual de dados.

2.1 Simuladores para a Linha de Tiras a Quente - LTQ

Na Figura 1 é mostrada, esquematicamente, a Linha de Tiras a Quente da Usiminas, em Ipatinga, com a indicação dos simuladores já desenvolvidos e onde têm sido aplicados.

O simulador do processo de laminação de desbaste, realizado nos laminadores R1 e R2, equipados com laminadores verticais, visa prever a espessura e largura do esboço, além da evolução de sua temperatura ao longo do processo.⁽³⁾ O simulador do processo de laminação de acabamento⁽⁴⁾ baseia-se no modelo de cálculo de *set-up* adquirido e agrega diversas outras funções como comentado no item 3. Para a previsão da evolução

térmica da tira ao longo da sua espessura, durante o processo de laminação no trem acabador, foi desenvolvido o simulador do resfriamento forçado com água entre cadeiras. Atualmente, esse simulador está desvinculado do modelo de *set-up*. O simulador de resfriamento da tira após laminação foi desenvolvido com base no modelo de controle do processo. As duas principais funções desse simulador são: i) dada uma temperatura visada de bobinamento, são calculados o número de bancos de resfriamento com suas respectivas vazões necessárias; e ii) considerado o problema inverso, que é o cálculo da temperatura de bobinamento prevista, dadas as vazões de cada banco do sistema.

2.2 Simuladores para a Linha de Chapas Grossas - LCG

Todos os simuladores para esta linha (Figura 2) foram integralmente desenvolvidos com a base de conhecimento existente na Usiminas.

O simulador de reaquecimento de placas em fornos de viga móvel⁽⁶⁾ tem a função básica de calcular a curva de aquecimento da placa, além de outras funções secundárias, como comentado no item 3. O simulador da evolução térmica de placas prevê a evolução de sua temperatura, desde sua saída dos fornos até a entrada do laminador, e representa um elo entre o simulador dos fornos e o simulador de laminação, atualmente em desenvolvimento. O método matemático usado é o de diferenças finitas, formulação explícita por entalpia. O simulador da evolução de hidrogênio em chapas grossas empilhadas após a laminação permite prever a temperatura e o teor de hidrogênio em cada chapa de aço empilhada, em função do tempo de empilhamento, de sua posição na pilha e do número total de chapas empilhadas. Para isto, são utilizadas soluções matemáticas por diferenças finitas para as equações diferenciais de transferência de calor e de difusão do hidrogênio.

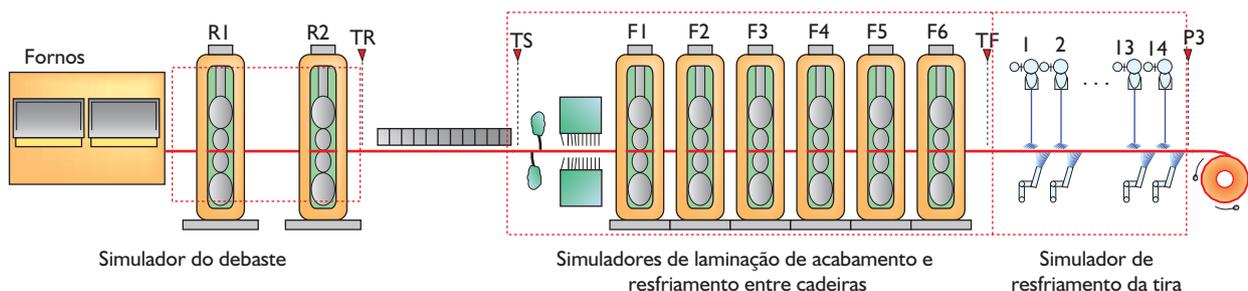


Figura 1. Esquema da Linha de Tiras a Quente e simuladores desenvolvidos.

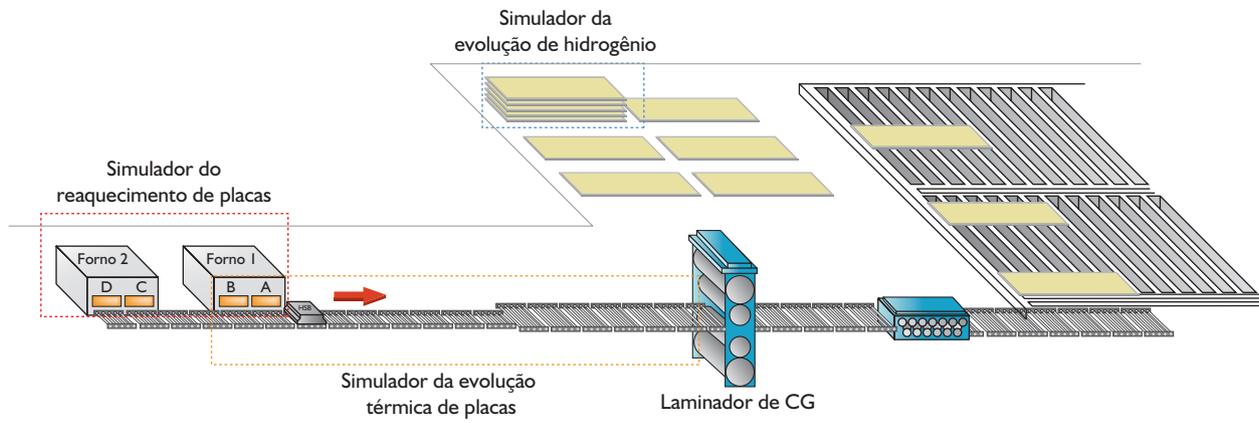


Figura 2. Esquema da Linha de Chapas Grossas e simuladores desenvolvidos.

2.3 Simulador Comum às Duas Linhas

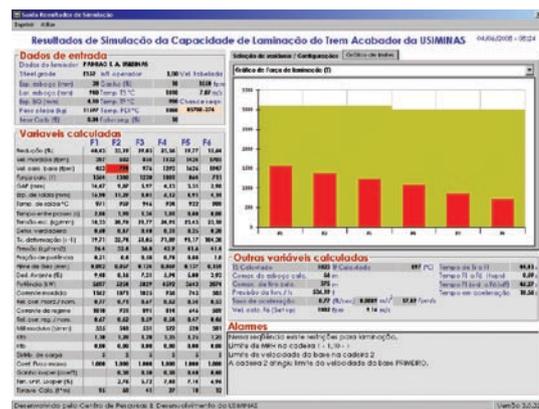
Foi desenvolvido também um simulador do processo de descarepação que permite ou fazer uma análise crítica de configuração de bicos numa estação de descarepação existente, ou propor uma nova configuração no caso de projeto de uma instalação. O simulador desenvolvido originalmente⁽²⁾ foi aperfeiçoado e hoje permite, de forma rápida e simples, avaliar qualquer estação de descarepação hidráulica por bicos tipo leque. São realizados cálculos da configuração dos bicos, da área molhada, extensão de recobrimento (*overlap*), além da pressão de impacto.

3 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DOS SIMULADORES

3.1 Simulador da Laminação de Acabamento de Tiras a Quente

Este simulador permite o cálculo de diversos parâmetros de *set-up* para as cadeiras ativas na laminação, que podem, eventualmente, ser inferior às seis existentes no laminador. Pode-se simular ou uma placa de cada vez (simulação placa a placa), ou todo um programa de laminação de forma sequencial. Na primeira situação, a entrada de dados é manual ou de forma automática a partir de dados PDI. O simulador tem sido utilizado, dentre outras funções, para o ajuste de coeficientes de variáveis do processo, tais como: velocidade e força de laminação, abertura entre cilindros, resistência à deformação do material e tensão entre cadeiras. Além disso, tem sido útil para dar suporte na resolução de problemas relacionados a acertos de espessura e de temperatura de acabamento, na avaliação da capacidade de laminação de determinados tipos de aços e no desenvolvimento da laminação de novos produtos.

Os parâmetros calculados pelo simulador são mostrados na Figura 3. Os mais relevantes são apresentados graficamente, como ilustrado nesta figura para a força de laminação. Uma informação fundamental para o processo de laminação obtida pelo simulador é a verificação se, em alguma cadeira, são ultrapassados os limites do equipamento. Qualquer anormalidade nesse sentido é apresentada nos resultados na forma de alarmes. No caso de simulação de



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os simuladores desenvolvidos para a área de Laminação a Quente da Usiminas têm se mostrado muito úteis nas várias etapas dos processos. Entre as aplicações podem ser citadas: previsão de situações anormais durante a laminação; fornecer indicações sobre a viabilidade da implantação de novas condições de laminação e gerar subsídios ao desenvolvimento de novos aços.

Pela facilidade de uso e versatilidade, os simuladores têm sido acessados e utilizados por diversos usuários, das unidades de apoio e de operação, tornando-se ferramentas fundamentais para análise e otimização do processo de laminação a quente.

REFERÊNCIAS

- 1 THOMAS, B. G.; BRIMACOMBE, J. K. Process modeling. In: MAEDA, M. *Advanced physical chemistry for process metallurgy*. [S.l.]: Academic Press, 1997. p. 253-79. Disponível em: <www.mechse.uiuc.edu/PDF%20Files/Publications/97_Proc_model_16fulpag2.pdf>. Acesso em 28/05/2008.
- 2 SANTOS, A. A.; CHAGAS, C. F.; RODRIGUES, C. F. Análise e projeto de sistemas de descarepação hidráulica. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 36., 1999, Belo Horizonte. São Paulo: ABM, 1999. p. 317-24.
- 3 FERREIRA, J. P.; GIACOMIN, C. N.; TEIXEIRA, M. H. Simulador do processo de desbaste da linha de tiras a quente da Usiminas com laminadores redutores de largura. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS, 6., 2002, Vitória. São Paulo: ABM, 2002. p. 121-30.
- 4 GIACOMIN, C. N.; SOUZA, A. L.; MARÇÃO, P. F. Aplicativo de simulação computacional do cálculo de set up do trem acabador de tiras a quente da Usiminas. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS, 11., 2005, Curitiba. São Paulo: ABM, 2005. p. 390-401.
- 5 GIACOMIN, C. N.; FERREIRA, J. P.; MAIA, G.; A. Simulação computacional para otimização do processo de resfriamento de tiras a quente. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 36., 1999, Belo Horizonte. São Paulo: ABM, 1999. p. 11-20.
- 6 SANTOS, A. A.; SCHIAVO, C. P.; GIACOMIN, C. N. Aplicativo de simulação do processo de reaquecimento de placas em fornos de viga móvel. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 44., 2007, Campos de Jordão. São Paulo: ABM, 2007. p. 462-71.

Recebido em: 15/11/2008

Aceito em: 2/09/2009

Proveniente de: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS, 12., 2008, Vitória, ES. São Paulo: ABM, 2008.