

ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE DO AÇO ALTO CARBONO CSN-AC60 NO LTQ#2 DA CSN⁽¹⁾

Carlos Augusto Lasneaux de Novaes⁽²⁾
James Albert dos Santos Soares Mohallem⁽³⁾
Carlos Roberto Guinâncio Carvalho⁽⁴⁾
Luciano José Farias Nicodemos⁽⁵⁾

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento do processo no LTQ para material alto carbono utilizado na fabricação de lâminas para corte de pedras (aço CSN-AC60), produto comprado pelos clientes New Port e Mangels. Este material, item de alto valor agregado e cuja disponibilidade é decisiva como diferencial de mercado junto aos clientes do setor de relaminação / distribuição, vinha apresentando problemas quanto à estabilidade e uniformidade do seu perfil de temperatura de bobinamento, que é o fator primordial para a obtenção do valor desejado de dureza deste produto, propriedade esta altamente controlada pelos fabricantes das lâminas, tendo em vista seu uso final.

Diferentemente dos demais produtos processados no LTQ#2, este aço apresentava alta instabilidade durante o seu resfriamento após o trem acabador, devido à transformação alotrópica, que ocorria especificamente nesta fase do processo.

Serão abordados neste trabalho a análise do problema, do fenômeno envolvido e os ajustes no processo e no modelo matemático que possibilitaram a produção e o atendimento dos requisitos de qualidade deste produto, melhorando sua performance e culminando numa redução do índice de perda no LTQ de 34% em Out/2001 para uma média de 2,8% no segundo semestre de 2002, mantendo boa performance desde então.

Palavras-chave: alto carbono, laminação a quente, resfriamento controlado

1) Trabalho a ser apresentado no 41º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos – ABM, 26 a 28 de outubro de 2004, Joinville, PR.

2) Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Produção Pleno – GLQ/GGLQ

3) Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Desenvolvimento Pleno – GTLA/LQ

4) Engenheiro Metalurgista, Coordenador de Projetos Especiais – GPD/GGDP

5) Técnico Metalurgista, Técnico de Desenvolvimento – GLQ/GGLQ

1. Introdução

Os aços laminados a quente com teores elevados de Carbono, os aços alto-C, ocupam um espaço relevante dentro dos segmentos de mercado que consomem aço como matéria-prima principal. Este é o caso dos relaminadores, dos fabricantes de ferramentas, dos fabricantes de implementos e máquinas agrícolas, dos fabricantes de cutelaria e das produtoras de auto-peças.

Dentro deste vasto mercado consumidor de aços alto-C, um em especial se destaca, que é o segmento de lâminas para corte de pedra (granitos e mármore), que tradicionalmente emprega aços da classe de 0,60% de Carbono.

A CSN foi no passado um tradicional fornecedor de matéria-prima para este segmento consumidor, via lingotamento convencional e Laminador de Tiras a Quente nº1. Com a desativação destes processos no início da década de 90, a CSN se viu obrigada a descontinuar a produção destes materiais, principalmente face à limitação de suas máquinas de lingotamento contínuo que não eram projetadas para este fim.

O advento da Máquina de Lingotamento Contínuo nº4, que permite lingotar aços com altos teores de C (até 0,80% máx.), possibilitou o desenvolvimento destes produtos, via lingotamento contínuo, na MCC-4, e laminação no Laminador de Tiras a Quente nº2, o LTQ-2. Isto permitiu à CSN retornar a este importante e atrativo segmento de produtos planos laminados a quente, onde já fora referência em qualidade e desempenho destes produtos.

Visando atender às principais demandas dos clientes e do mercado consumidor com foco na aplicação final do produto, a CSN desenvolveu a família de aços CSN-ACxx (onde os dois últimos dígitos especifica o teor médio visado de carbono). Nesta família de aços, o CSN-AC60 é o produto especificamente destinado ao mercado de lâminas para corte de pedra.

O quadro a seguir mostra o perfil deste mercado.

Mercado de aço para lâminas de corte de pedra (t/ano)	Principais Clientes consumidores	Espessuras Consumidas (mm)	Larguras consumidas (mm)
12.000	Mangels / Newport	4,50 / 5,00	1100 / 1200

O trabalho contínuo de desenvolvimento e adequação dos processos de produção destes aços vem consolidando a CSN como a principal fornecedora de bobinas laminadas a quente de aço alto-C com padrão de qualidade adequado ao uso final nos clientes.

1.1 O Corte de Pedra

A lâmina de corte de pedra é uma ferramenta utilizada como veículo de corte nos “teares” ou dispositivos que transformam os blocos de pedra em grandes “fatias” estreitas, que mais tarde são beneficiadas (recorte, polimento, furação, etc) para transformá-las em objetos úteis à sociedade.

O corte das fatias de pedra é uma etapa muito crítica, por vários motivos a considerar:

- Cada corte completo leva normalmente muitas horas ou até dias, dependendo da dureza da pedra.
- Para cada operação de corte, são montadas dezenas de lâminas de aço paralelas no tear, que dividirão o bloco de pedra em “fatias” ou “lâminas de pedra”, cuja espessura será ditada pela distância entre as lâminas.
- Para que ocorra um bom corte, a lâmina deverá estar perfeitamente plana e bem nivelada, de forma a produzir um corte liso e retilíneo. Lâmina com perfil curvo provoca desvio de corte e perda da peça.
- A lâmina de aço não pode sofrer um desgaste prematuro em relação às demais lâminas do tear, nem tampouco se romper durante a operação de corte, pois isto ocasiona perda do bloco de pedra. O perfil de desgaste de todo o conjunto de lâminas deve ser bastante uniforme. Isto exige uma grande homogeneidade de propriedades e características metalúrgicas destas ferramentas de corte.

1.2 O processo de Corte da Pedra e as Características de qualidade do produto

O processo de corte da pedra se dá através do atrito de granalhas de aço em emulsão numa solução líquida com a pedra, tendo como veículo a lâmina de aço, que conduz a granalha e a arrasta sobre o bloco de pedra. O atrito da lâmina mais a granalha sobre a pedra de forma contínua e repetida vai lentamente rompendo os cristais da rocha e promovendo o corte.

Além dos requisitos normais do produto, ex. dimensões, tolerâncias, etc, algumas características de qualidade específicas são de fundamental importância para esta aplicação, como :

- . Boa planicidade - o bom aplainamento da chapa laminada a quente é fundamental para a obtenção de lâminas de corte perfeitamente planas.

- . Boa uniformidade de espessura - para a realização de cortes uniformes e precisos é necessário que a tira de aço tenha uma boa uniformidade dimensional.

- . Propriedades mecânicas especificadas - a tira de aço necessita de uma dureza uniforme na faixa de 25 a 29HRC para que se tenha o melhor desempenho e aproveitamento do conjunto de lâminas de aço do tear, e obtenção de um perfil de desgaste homogêneo das lâminas de aço durante toda a operação de corte.

- . Microestrutura homogênea - para a garantia das propriedades requeridas na lâmina de aço, é necessário que a microestrutura seja constituída de colônias de perlita fina bastante uniformes e homogêneas ao longo de todo o comprimento da tira. Desta forma, o resfriamento excessivo do aço durante o processamento em laminação a quente, gerará uma microestrutura muito dura e frágil que poderá provocar a fratura prematura da lâmina em serviço, com grande prejuízo ao usuário.

Por outro lado, condições de resfriamento insuficientes durante o processo de laminação a quente, gerará microconstituintes muito macios, que poderá provocar o desgaste prematuro acentuado e desuniforme da lâmina de aço em serviço.

Nesta aplicação, as características do produto laminado a quente (BQ) influenciarão de forma direta o desempenho final da lâmina de aço. O processo de beneficiamento adotado pelo cliente na transformação da BQ em lâminas, segue as etapas de : desbobinamento, aplainamento da tira, corte da tira em slitters, corte dos slitters no comprimento das lâminas, furação das extremidades das lâminas, embalagem do

produto. Devido a este processamento relativamente simples de produção das lâminas, vê-se que o sucesso ou insucesso das lâminas de aço no processo de corte, dependerão diretamente das características de qualidade da BQ que é fornecida para este uso, que na CSN é o produto CSN-AC60.

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é mostrar que as alterações realizadas nos parâmetros de processo do material CSN AC-60 no LTQ foram efetivas tanto no que tange à redução dos desvios e sucateamentos internos quanto a adequação às necessidades do cliente. Serão tratadas as características específicas deste material, as quais levaram ao desenvolvimento de um processamento termomecânico específico para o alto carbono com 0,60% de carbono.

3. Descrição do Processo

O processo de laminação a quente prevê após a redução do esboço , produzido pelo desbaste do laminador de tiras quente, duas temperaturas têm que ser controladas para assegurar tanto a estabilidade do processo como as propriedades desejadas para o aço : as temperaturas de saída do acabamento (FDT - Finishing Delivery Temperature) e a temperatura de bobinamento (CT – Coiling Temperature) . Ambas tem modelos e controles no equipamento específicos para que as mesmas permaneçam dentro das faixas visadas de processo de 20° C em relação a um valor visado. Trataremos especificamente do controle de temperatura de CT, que foi o problema do material em questão.

Na mesa de saída, após o trem acabador, existem uma série de chuveiros dispostos ao longo dos 116 metros desta , divididos em 14 bancos (14 inferiores e 14 superiores) com 8 chuveiros cada. Estes chuveiros têm sua abertura controlada por computadores, sendo que antes do esboço processar no trem acabador, é feito o set up pelo Programa CTC, parte do Sistema Supervisório de Controle de Laminação (SSCL) , calculando-se a quantidade de chuveiros necessários inicialmente para se atingir a temperatura de CT desejada a partir do FDT visado, além de parâmetros de capacidades térmicas para o processo do material em questão. A partir deste cálculo inicial realizado pelo Computador de processo (SSCL), os processadores dedicados chamados MELPLACS controlam a temperatura da tira a partir de dados enviados pelo SSCL. Este controle se faz necessário pois o número chuveiros acionados varia ao longo da tira de acordo com variações de velocidade , temperatura FDT e/ou espessura. As temperaturas de FDT e CT são lidas por pirômetros no início e fim da mesa de saída respectivamente. Os valores lidos são armazenados e servem tanto para registros de qualidade do processo como para correção automática pelo próprio computador , dinamicamente nos MELPLACS e para o set up do computador de processo, que verifica a defasagem em entre seu cálculo e o obtido real e se autocorrigue , visando atingir a temperatura objetivada para a bobina seguinte se esta for de mesma classe de espessura, largura e tipo de aço.

4. Desenvolvimento do Trabalho

4.1. Identificação do Problema

Este aço necessita de dureza maior ou igual a 23 HRB para atendimento aos requisitos do cliente, que fornece lâminas para teares de corte de pedras e, uma dureza baixa resulta em desgaste prematuro das lâminas, ao passo que também uma dureza muito alta, indicativo de estrutura martensítica, leva à fragilização do material, que se parte, comprometendo o produto dos clientes finais (placas cortadas a partir de blocos de pedra). Para isto necessita de temperatura de bobinamento baixa (580° C a 620° C, tol. + 0°C/-20°C). Nesta faixa de temperatura o comportamento deste material na mesa de saída, após o trem acabador, torna-se extremamente instável, surgindo assim dois problemas:

- ◆ Controle de temperatura de bobinamento (CT) – este material com as mesmas condições de contorno, isto é, velocidade, temperatura de FDT e nº de bancos abertos ele passa a ganhar temperatura na mesa de saída. Isto torna o controle extremamente instável e os ajustes realizados para uma bobina produzem resultados diferentes na seguinte.
- ◆ Forma – este material sai com planicidade OK da cadeira F#7 e chega na bobinadora extremamente ondulado seja com ondulado lateral ou repuxado central. Esta planicidade deficiente atrapalha a ação do varredor lateral e o resultado é o carregamento de água sobre a chapa para debaixo do foco de leitura do pirômetro, ocasionando descontrole na abertura de chuveiros, contaminação do aprendizado automático do computador (learning) para as próximas bobinas, além de causar resfriamento diferenciado nestes pontos, levando à formação de martensita, causando fragilização nestes pontos e conseqüentes trincas.



Fig. 1- Trinca causada por resfriamento excessivo da tira

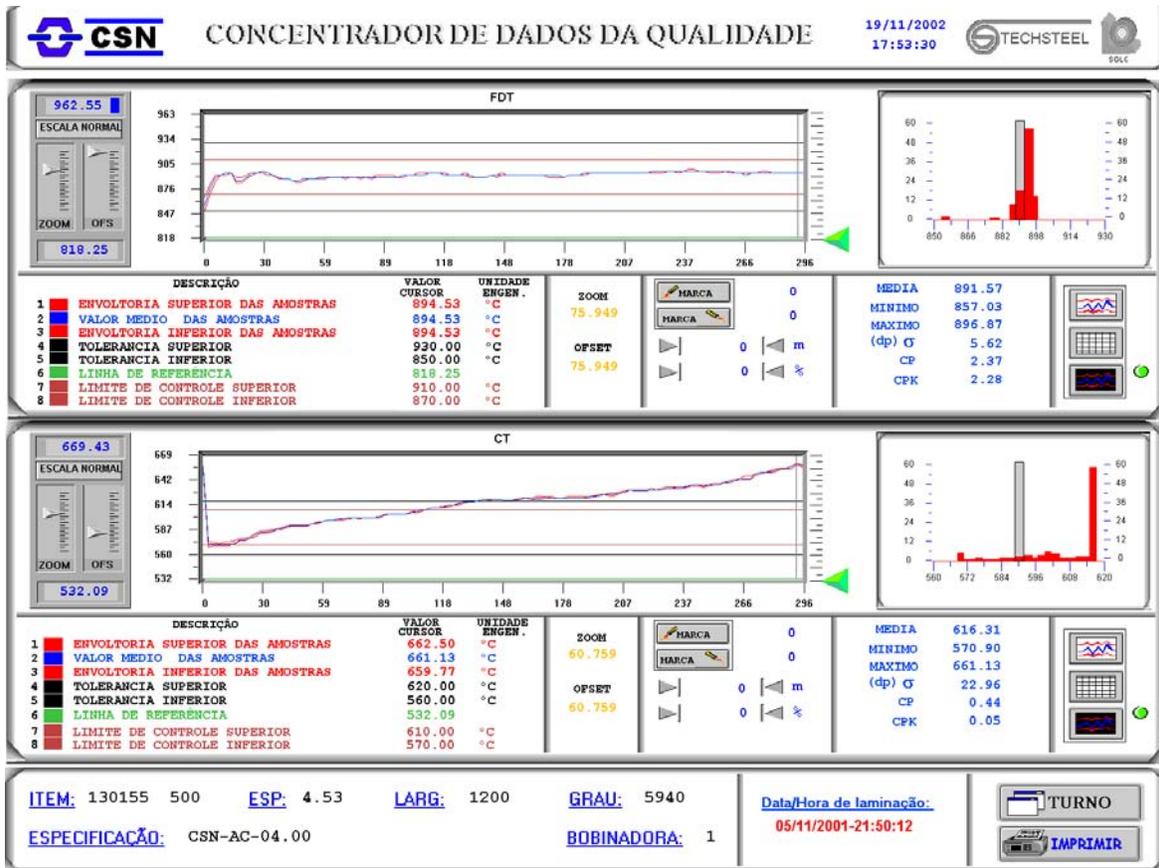


Fig. 2 - Representação das temperaturas de FDT e CT pós Revamp

4.2. Observação do Problema

Inicialmente as condições de processo para AC 60 seriam semelhantes aos materiais com similaridade quanto a faixa de carbono, previamente classificados no computador, principalmente o AC 50. Tal padrão de processo previa abertura dos chuveiros do Laminar flow de maneira normal, começando mais próximo ao acabamento e abrindo de maneira progressiva. Além de não se obter o controle de temperatura desejado, notou-se que havia muita passagem de água sob o pirômetro CT. A tira chegava com diversos problemas de planicidade no final da mesa de saída, problemas que se notava pouco ou nenhum no início da mesa, i.e. , na saída do trem acabador.

5. Ações Corretivas

5.1. Primeiras modificações

Com os resultados insatisfatórios inicialmente obtidos, foi implementado ajuste alternativo visando melhorar a passagem de água sob o pirômetro, visto que esta ocorrência tanto prejudicava a leitura dos resultados reais como prejudica o modelo pois fornece parâmetros falsos para o ajuste automático pelo modelo matemático (função "Learning"). Este ajuste previa abertura inicial dos chuveiros inferiores e posteriormente,

à medida da necessidade dos chuveiros superiores. Tal ajuste deveria conduzir a uma contração mais acentuada na parte inferior da tira provocando um acanoamento invertido (convexo). Também não conduziu a resultados satisfatórios. A passagem de água continuava e a planicidade continuava ruim.

O maior e mais difícil problema que se observava era a instabilidade quanto ao controle da temperatura de bobinamento (CT). Com as condições de contorno bastante definidas, ou seja uma temperatura de saída do acabamento muito estável (FDT) e velocidade constante da tira ao longo de todo o processo após acabamento, obtínhamos resultados diferentes mesmo fixando o mesmo número e ordem de chuveiros abertos. Ajuste de coeficientes, utilizando ferramentas de regressão e simulação foram várias vezes tentadas, sem resultados satisfatórios.

A partir destes resultados foi observado que este material possuía características únicas, e apenas alterações no modelo não seriam suficientes. Passou-se a analisar o que poderia levar a alterações de forma na mesa de saída e também a um aumento de temperatura, mesmo em condições estáveis de FDT, velocidade e número de chuveiros (volume de água) fixos.

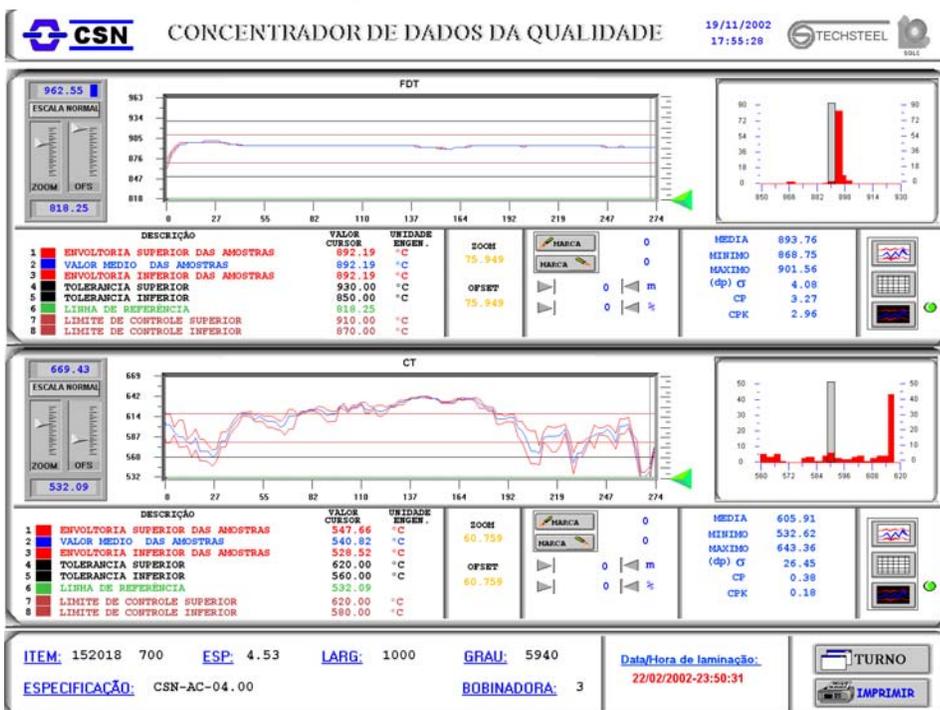


Fig. 3 - Representação das temperaturas de FDT e CT após 1ª modificação

5.2. Análise da Causa Fundamental do Problema

Com base nos fatores supracitados, foi possível chegar à causa do problema que seria a transformação alotrópica austenita – ferrita ocorrendo no laminar flow, o que se relaciona com os problemas acima da seguinte forma :

- ◆ Devido à transformação de fase ser exotérmica, este material tem um comportamento diferenciado de todos os outros no laminar flow. Com o ganho de temperatura, os valores e parâmetros utilizados tanto para o set up quanto para o

controle dinâmico ficam ineficientes, pois o cálculo não tem como condizer com a situação real.

- ◆ Os coeficientes de dilatação da austenita e da ferrita são diferentes e a transformação do material não se dá de maneira uniforme e de uma única vez, devido ao resfriamento temo áreas mais e menos contraídas, causando então os ondulados e repuxados que se observa formar sob os chuveiros do laminar flow.

Sendo definido que o problema era oriundo da transformação austenita-ferrita que acontecia nesta fase do processo, ou seja , durante o resfriamento no laminar flow foi decidido que dever-se-ia abaixar a temperatura de acabamento de modo a relocar o momento desta transformação.

6. Solução Proposta

Deste modo , a solução que seria viável seria diminuir a temperatura de acabamento, de modo a favorecer a transformação do material o mais rápido possível , mais próximo à F#7. A dureza do material não seria afetada substancialmente, pois a temperatura de bobinamento é o principal fator influente nesta característica desejada pelo cliente final. Também foi modificado o modo de resfriamento da tira, colocando o máximo de chuveiros abertos próximos ao trem acabador do LTQ#2. Com isto teríamos a transformação alotrópica ocorrendo logo após o acabamento, evitando a instabilidade quanto ao controle de temperatura e o conseqüente problema de planicidade, que advinha de diferentes contrações da austenita e da ferrita, quando ocorria a transformação.

Após os ajustes iniciais nas primeiras placas, visando atingir a faixa de resfriamento ideal , observou-se que a temperatura e planicidade se mantinham estáveis, atingindo os valores ideais para a dureza, forma e integridade dos material.

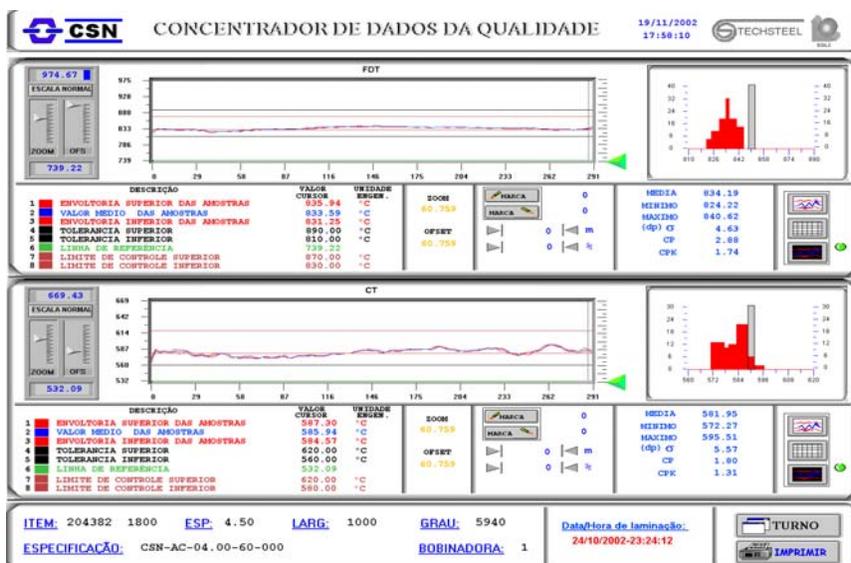


Fig. 4 - Representação das temperaturas de FDT e CT após ação final

7. Resultados

A partir das ações corretivas implementadas, pode-se observar pelo gráfico abaixo os resultados em termos de perdas por qualidade (desvios e sucatas). Além da redução das perdas internas, devem ser levados em conta o atendimento ao cliente na data desejada, o que não acontecia anteriormente devido ao elevado índice de desvios e retrabalho na linha de preparação de bobinas à quente, onde os trechos fora de especificação são descartados.

As condições de processo relativas ao controle de temperatura de acabamento e controle do resfriamento no laminar flow foram programadas no computador de processo de modo a padronizar o processamento para esta classe de aço alto carbono.

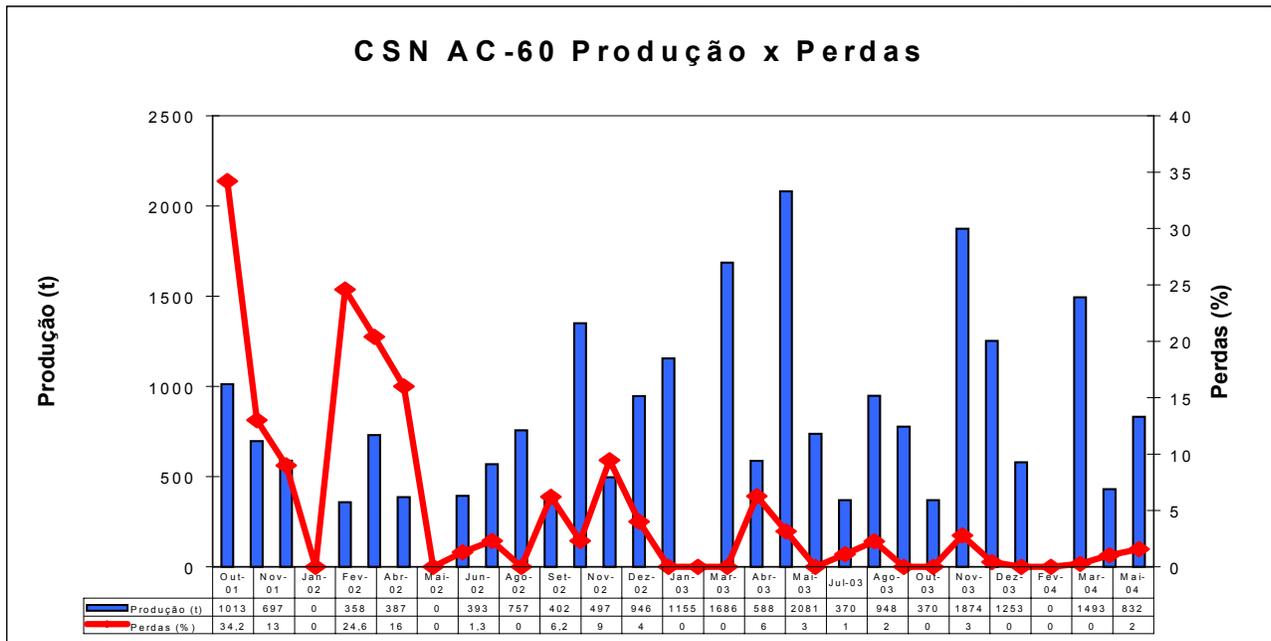


Fig. 5 - Gráfico demonstrando a evolução da produção e perdas (descartes e desvios) na especificação CSN AC60 de outubro/2001 a maio/2004.

8. Conclusão

A partir dos resultados obtidos podemos chegar às seguintes conclusões :

- A causa fundamental do problema era a transformação alotrópica que tinha lugar durante o processo de resfriamento da tira no laminar flow, característica diferente dos outros aços alto carbono , cuja transformação se dava durante a redução no acabamento ou no estado bobinado.
- A alteração da temperatura de acabamento se mostrou eficaz no tangente à estabilidade do processo e nos resultados de qualidade, dureza e integridade do produto.
- O estudo deste caso permitiu obtenção de know-how quanto ao processo desta classe de aço e o comportamento do AC-60 nas várias fases de laminação a quente.

- Tomando como base o preço de venda deste (35% maior que o preço base de SAE1008), a redução das perdas permitiu uma grande economia no que se refere ao custo de conversão deste material através do aumento do rendimento metálico final.

9. Referências Bibliográficas

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, Description of Mathematical Model
CHIAVERINI, V. ; Aços e Ferros Fundidos, ABM, 6ª ed., 1990
PERFETTI , F. ; Le Lame the Blades los Flejes, Marmilame , 1993 , Italy

ABSTRACT: ADEQUACY OF HIGH CARBON STEEL CSN-AC60 ROLLING PROCESS IN CSN'S HOT STRIP MILL

Carlos Augusto Lasneaux de Novaes ⁽²⁾
James Albert dos Santos Soares Mohallem ⁽³⁾
Carlos Roberto Guinâncio Carvalho ⁽⁴⁾
Luciano José Farias Nicodemos ⁽⁵⁾

This paper presents the work of process development for High Carbon hot rolled strip in CSN's Hot Strip Mill , material applied in stone cutting (CSN AC60). This material, item of high value and decisive for our market share in the relamination segment and distribution, showed problems with its stability and uniformity of coiling temperature, the main factor to achieve the desired hardness necessary for its end use.

It will be presented the problem analysis, the phenomena of alotropic transformation, the adjustments on process and on the mathematical model of strip cooling that made possible the achieving of good quality results.

The results show the improvement on production performance, resulting in the reduction of loss from 34% in October 2001 to 3% in September 2002, keeping this performance since this time.

Key Words : High Carbon, Hot Rolling , Strip Cooling

- 1) *Paper to be presented at 41st Rolling Seminar Processes , Rolled and Coated Products , October 26 to 28 of 2004, Joinville, PR, Brazil*
- 2) *Metallurgical Engineer, Hot Strip Mill Management of Companhia Siderurgica Nacional - CSN*
- 3) *Metallurgical Engineer, Technical Management of Companhia Siderurgica Nacional - CSN*
- 4) *Metallurgical Engineer, Research & Development Management of Companhia Siderurgica Nacional - CSN*
- 5) *Metallurgical Technician, Hot Strip Mill Management of Companhia Siderurgica Nacional - CSN*