

EVOLUÇÃO DA LAMINAÇÃO DE AÇOS IF NO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA COSIPA¹

Marcos Roberto S. da Silva²
Pedro Segundo da Silva Vallim²
José Herbert Dolabella da Silveira³
Heli Lacerda Gomes⁴
Antonio Augusto Gorni⁵
José Ricardo Peçanha Guia²
Mateus Alexandre da Silva⁶
Cleyton de Campos Filho⁷

Resumo

A constante necessidade de redução de custos e otimização da produtividade nas linhas de produção da indústria automobilística exige que os fornecedores de aços planos mantenham um contínuo desenvolvimento de novos produtos. Peças com alta exigência de estampabilidade, cada vez mais frequentes nas últimas décadas, motivaram o desenvolvimento de chapas finas com teores ultra-baixos de carbono, ou seja, os aços IF (*interstitial free*). A COSIPA desenvolveu o processo de fabricação dessa classe de aços no Laminador de Tiras a Quente adequando os parâmetros de produção e procedimentos operacionais com o objetivo de maximizar a produtividade da linha e elevar os rendimentos de produto e aprovação, sem contudo comprometer as características especificadas do produto. Este trabalho tem como objetivo apresentar as características do produto para os aços IF, bem como os principais itens de verificação e acompanhamento durante a fabricação e os resultados obtidos no Laminador de Tiras a Quente da COSIPA.

Palavras-chave: Aços IF; Laminação de tiras a quente; Otimização de processo.

EVOLUTION OF I.F. STEEL PROCESSING AT COSIPA'S HOT STRIP MILL

Abstract

The constant need of cost reduction and product performance improvement in order to attend the automotive industry demand are keeping flat steel producers continuously developing new products and new ways to produce them economically. The quest for higher deep drawability motivated the development of the so-called IF (interstitial free) or ultra-low carbon steel. COSIPA developed and refined its process for production of IF steel in the Hot Strip Mill adapting the production parameters and operational procedures in order to maximize plant productivity and product yield, but without compromising anyway the specified quality characteristics of the product. The objective of this paper is to present the characteristics aimed for the IF product, as well as the main verification items and check points adopted to its process control production and results got at COSIPA's Hot Strip Mill.

Key words: IF steel; Hot strip mill; Process optimization.

¹ Trabalho a ser apresentado ao 43º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Curitiba (PR), 17 a 20 de Outubro de 2006.

² Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

³ Engenheiro Metalurgista, M. Eng., Gerente de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: herbert@cosipa.com.br

⁴ Técnico Metalurgista, Assistente de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. Email: heligomes@cosipa.com.br.

⁵ Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, M. Eng., Dr. Eng., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP

⁶ Técnico da Laminação a Frio, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁷ Engenheiro Industrial Elétrico, Assistente Administrativo da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: cleytoncampos@cosipa.com.br.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a indústria automobilística tem buscado o desenvolvimento contínuo dos materiais utilizados na fabricação de seus produtos, com o objetivo de reduzir os custos de fabricação, minimizar o consumo de combustível e aumentar a segurança dos usuários. Dentro deste contexto, os fornecedores de aços planos têm procurado desenvolver materiais com melhores performances e níveis de qualidade. Um dos aspectos mais promissores deste segmento está sendo o contínuo desenvolvimento de chapas finas a frio para peças com alta exigência de estampabilidade.

Os aços-carbono para estampagem têm experimentado constante evolução motivada ao longo das últimas décadas pelo desenvolvimento de novas técnicas de manufatura e processos metalúrgicos de elaboração e refino do aço. A principal classe de produto dentro desses materiais são os chamados aços IF (*interstitial free*, ou livres de intersticiais). A pesquisa e o desenvolvimento desses materiais teve início na década de 1970. A fabricação com características comerciais foi alcançada por volta de 1979, como um aço com extra-baixo teor de carbono estabilizado ao titânio, que começou a substituir os aços com baixo C acalmados ao alumínio, agregando ainda maior resistência à corrosão através da galvanização. Seu uso não só reduziu o custo de manufatura das peças estampadas como também lhes proporcionou maiores níveis de qualidade. A Tabela 1 mostra as propriedades mecânicas típicas desse novo material.^[1]

Tabela 1. Propriedades objetivadas para os aços IF fabricados na COSIPA.

LE [MPa]	≤ 170
LR [MPa]	≤ 320
AT [%]	$\geq 38\%$
Coefficiente de Anisotropia (r)	$\geq 1,70$
Coefficiente de Encruamento (n)	$\geq 0,22$

Os aços IF têm sido adotados com sucesso nos últimos anos na fabricação de painéis para a carroceria de automóveis. Eles apresentam níveis muito altos de estampabilidade em função de seus baixos teores de átomos intersticiais, como C e N, que são menores que 0,003 e 0,004%, respectivamente. Essa condição lhes proporciona baixo limite de escoamento e alta resistência à redução de espessura durante a deformação a frio. Os aços IF também não sofrem envelhecimento, uma vez que o carbono está totalmente combinado na forma de precipitados.^[2-4]

Este trabalho tem como objetivo apresentar os desenvolvimentos nos parâmetros de processo e nos procedimentos operacionais que permitem ao Laminador de Tiras a Quente da COSIPA o fornecimento deste produto conforme as propriedades mecânicas, forma e tolerâncias dimensionais solicitadas pelos clientes.

HISTÓRICO

A laminação de aços de alta capacidade de estampabilidade na COSIPA iniciou-se na década de 1990, sendo motivada pelas solicitações das montadoras automobilísticas situadas na Grande São Paulo. Naquela época, inicialmente a COSIPA usou placas compradas externamente para determinar os parâmetros otimizados de

seu processamento nas linhas de laminação a quente e a frio, enquanto que simultaneamente desenvolvia os processos de elaboração e refino desse material na sua aciaria. Essa estratégia foi adotada objetivando-se disponibilizar esse produto ao mercado no prazo mais rápido possível.

Na fase inicial tinha-se como objetivo principal a avaliação da capacidade produtiva da linha de laminação através da determinação dos parâmetros de laminação e definição dos procedimentos operacionais para a obtenção do produto dentro dos requisitos mecânicos desejados pelo cliente. Foram então selecionados os principais pontos de verificação na linha de laminação, itens de qualidade superficial, forma e produtividade da linha. Estes fatores determinaram a especificação as variáveis relevantes ao processamento dos aços IF no Laminador de Tiras a Quente: dimensões da placa, cone de laminação, tempo de aquecimento, esquema de passes de descamação, temperatura de entrada, *set-up* do Trem Acabador, temperatura de acabamento, *set-up* da Mesa de Resfriamento e temperatura de bobinamento.

A metodologia de fabricação dos aços IF foi determinada e consolidada, sendo obtidos produtos finais com resultados satisfatórios. Contudo, os índices de rendimento de produto e rendimento de aprovação permaneciam abaixo dos resultados médios dos demais produtos fabricados na linha. Esse fato tornou-se particularmente crítico considerando-se o aumento significativo que os aços IF passaram a apresentar no *market share* dos aços planos automotivos, fato que começou a contribuir para uma degradação dos índices de desempenho global da linha.

Este cenário fez com os diversos fatores que afetam os rendimentos de fabricação dos aços IF fossem reavaliados com o objetivo de se otimizar a produtividade da linha e maximizar o nível de qualidade da bobina a quente fornecida a para as linhas posteriores da laminação a frio.

DESENVOLVIMENTO

Uma vez verificada a necessidade de se revisar os procedimentos adotados na laminação de tiras a quente de aços IF, decidiu-se que as eventuais alterações a serem feitas deveriam observar que os resultados de qualidade estariam sempre priorizados em relação a produtividade. Ou seja, qualquer alteração nos parâmetros de laminação que prejudicasse a qualidade do produto final e/ou a segurança operacional da linha não poderia ser efetivada. Isto posto, procurou-se então verificar quais seriam os problemas que mais afetavam os resultados de rendimento de produto, de aprovação e produtividade da linha. Constatou-se então que o rendimento de produto era significativamente prejudicado por um elevado índice de sucata no Trem Acabador do LTQ.

A avaliação dos motivos do descontrole operacional dentro do Trem Acabador e conseqüente ocorrência de acidentes operacionais, tais como sucatas e estiramentos, estava concentrado nos produtos fabricados nas dimensões mais críticas para o LTQ: material fino e/ou com superlargura. Essas dimensões são adotadas para a obtenção de produtos finais com espessuras mínimas. Esta limitação de espessura a quente estava atrelada às taxas de redução existente no Laminador de Tiras a Frio. Desta forma, os motores principais do Trem Acabador trabalhavam próximo do limite de corrente permitido, o que às vezes, impossibilitava a aceleração do laminador podendo

gerar o resfriamento excessivo no final da tira. Esta queda de temperatura do material ocasionava uma série de problemas durante o processamento da tira.

Uma desses problemas era o incremento das forças de laminação nas cadeiras, as quais ultrapassavam os limites máximos de operação. Dessa forma era acionado o sistema de proteção dos parafusos ajustadores que impediam e/ou limitavam a atuação do sistema de controle de espessura automático (AGC), gerando maior dispersão na precisão de espessura. Outra consequência desse abaixamento de temperatura era a laminação abaixo da temperatura crítica para a transformação austenítica do aço IF (Ar_3), a qual é muito alta em função dos teores muito baixos de C e outros elementos de liga nesse material. Nesta região intercrítica, a resistência à deformação a quente da tira sofre considerável abaixamento, ocasionando o descontrole do fluxo de massa entre as cadeiras, além de afetar significativamente a planicidade do material.^[1]

Outros problemas a serem considerados era a execução do *set-up* e correções dinâmicas do equipamento de forma manual, o que comprometia a homogeneidade de propriedades entre as tiras processadas, devido à influência significativa da habilidade dos operadores no desempenho do resultado deste produto.

Posteriormente detectou-se outro problema de qualidade associado à queda excessiva de temperatura no final da tira: o desvio de bobinas devido a marcas de cilindros. Estas marcas, basicamente eram ocasionadas por fortes estiramentos das últimas cadeiras do trem acabador, principalmente na última. Tais estiramentos, entre outros fatores, decorrem da elevação das forças axiais em decorrência do aumento das cargas de laminação^[5] Apesar das bobinas de aço IF quase sempre seguirem para serem laminadas a frio, a intensidade dessas marcas não permite que a bobina seja aprovada. Neste caso era necessário executar troca emergencial dos cilindros de trabalho do Trem Acabador, afetando o índice de funcionamento da linha e desvio de produto por espessura devido aos procedimentos operacionais existentes no trem acabador.

Ainda avaliando os valores obtidos de rendimento de aprovação, constatou-se, em escala bem menor, desvios de bobinas devido à presença de carepa primária grosseira e intensa que ocorria na face superior da tira e que era detectada somente após o processo de decapagem.

Além de ser necessário determinar a solução para os problemas de qualidade superficial e de acidentes operacionais, existia também a premente necessidade de aumento da produtividade da linha, expressa em termos da tonelagem produzida por hora de aços IF, em função da maior demanda do segmento automobilístico do mercado. A análise dos fatores que afetavam negativamente a produtividade identificou como principal problema o baixo peso médio das placas, fato decorrente da utilização de placas de menor comprimento que foram especificadas ainda na fase inicial do desenvolvimento do produto.

Após a análise dos resultados foi definida a priorização dos trabalhos a serem executados. Primeiramente, objetivou-se a redução do índice de sucata. Numa segunda fase decidiu-se pela eliminação do defeito carepa superficial primária e, em último lugar, ficou o aumento do peso médio das placas.

Com relação as ocorrências de sucata e estiramento foram realizadas várias alterações de processo objetivando-se reduzir a perda de temperatura no final da tira. Dentre elas pode-se destacar:

- Revisão das espessuras da bobina laminada a quente, com incremento de até 15% baseado no desenvolvimento e criação de tabela específica de taxa de reduções para os aços IF na Laminação de Tiras a Frio;
- Determinação de limite mínimo de espessura a quente, adequando-o à capacidade especificada do equipamento;
- Aumento da espessura do esboço obtido após a fase de esboçamento, reduzindo sua perda de temperatura durante a transferência desde o laminador esboçador R2 e o Trem Acabador;
- Aumento da temperatura de acabamento especificada e aumento da velocidade de encaixe da tira no Trem Acabador;
- Eliminação de passagem de água para refrigeração dos cilindros pelas raspadeiras e calhas do Trem Acabador;
- Criação de carta de controle para a perda de temperatura dentro do Trem Acabador.

Para a eliminação do defeito carepa superficial primária foram realizadas as seguintes atividades :

- Redução da temperatura de aquecimento das placas, minimizando a espessura de carepa formada dentro dos fornos de reaquecimento;
- Alteração do esquema de descamação aplicado nos Laminadores Esboçadores para a laminação de aços IF.

Após a implantação das fases 1 e 2 e consolidação dos resultados obtidos caminhou-se para a última fase de implantação, a qual consistiu de estudo para o aumento da produtividade da linha. Realizou-se então a análise do comportamento do perfil de corrente dos motores do Trem Acabador durante a laminação para se verificar a disponibilidade de equipamento. Após estes estudos observou-se a possibilidade de um incremento no comprimento da placa. Com esta alteração, foi possível um aumento do comprimento das placas e um ganho entre 7,7% a 13,5% na produtividade expressa em tonelagem horária.

Outro fator importante para a melhoria no processamento deste produto foi a automação do trem acabador, digitalização dos motores principais e implantação de um novo sistema de resfriamento de tiras. Nesta reforma foram incorporados, entre outros recursos, modelos matemáticos para *set-up* do trem acabador e resfriamento da tira, bem como um novo sistema de armazenamento de dados. Este salto tecnológico permitiu, além do controle operacional mais eficiente e homogêneo, uma evolução significativa nas capacidade de análises dos parâmetros de laminação.

RESULTADOS OBTIDOS

Todas as alterações propostas foram implementadas e seu efeito benéfico refletiu-se nos índices de desempenho operacional da linha. O rendimento de produto IF processado no Laminador de Tiras a Quente aumentou de 1,03%, como mostra a Figura 1. A Figura 2 mostra que o aumento no rendimento de aprovação desse material aumentou de forma similar. Já a tonelagem horária média de aços IF processados no Laminador de Tiras a Quente elevou-se de quase 9%, de 237 para 260 t/h, conforme mostra a Figura 3.

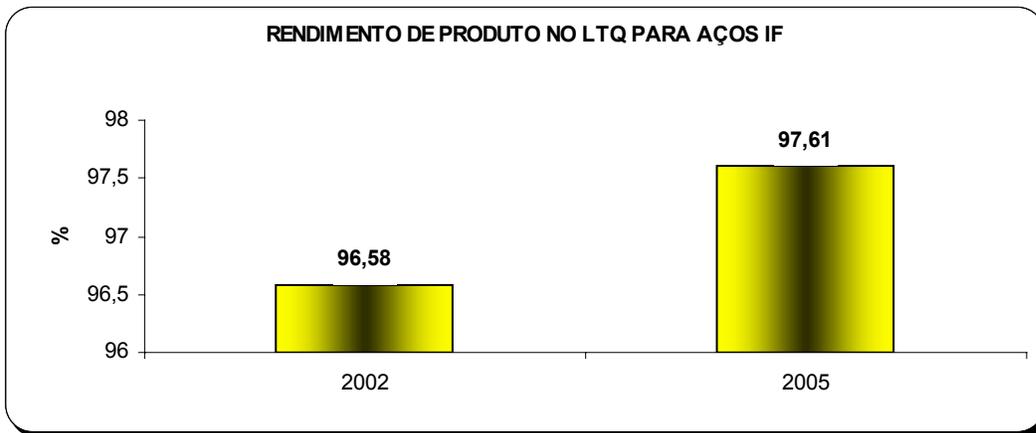


Figura 1. Aumento do rendimento de produto devido à redução do índice de sucata (sucatas mais desvios de tiras a quente) na produção de aços IF no Laminador de Tiras a Quente.

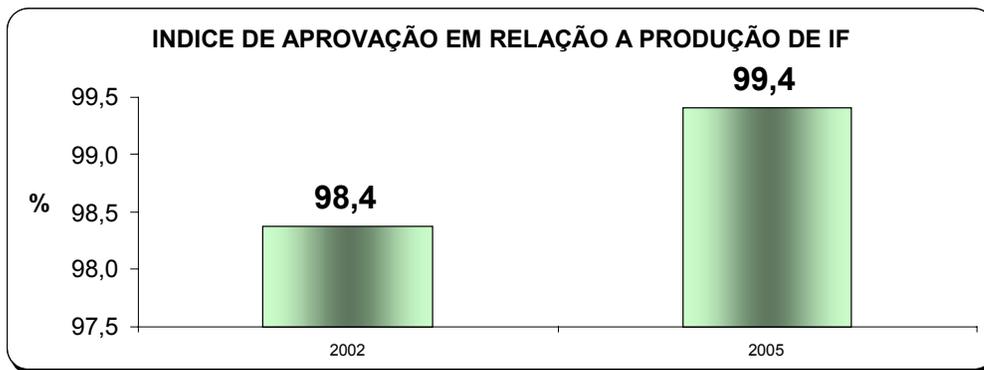


Figura 2. Aumento no rendimento de aprovação de bobinas de aços IF produzidos no Laminador de Tiras a Quente depois da otimização do processo.

As Figuras 4 e 5 mostram a capacidade do processo otimizado de laminação de tiras a quente em termos das características dimensionais das bobinas produzidas. Pode-se observar que o processo mostrou-se plenamente capaz tanto em termos da espessura como da largura das bobinas produzidas, tendo sido obtidos valores de C_{pk} iguais a, respectivamente, 1,780 e 1,271. O mesmo ocorreu em termos do cumprimento das faixas especificadas de temperatura e bobinamento. As Figuras 6 e 7 mostram que os valores de C_{pk} obtidos neste caso foram iguais a, respectivamente, 1,305 e 1,314. Isto significa que o Laminador de Tiras a Quente cumpre adequadamente os pré-requisitos metalúrgicos para uma boa execução do processo de laminação de tiras a frio e recozimento em caixa do produto IF laminado a frio.

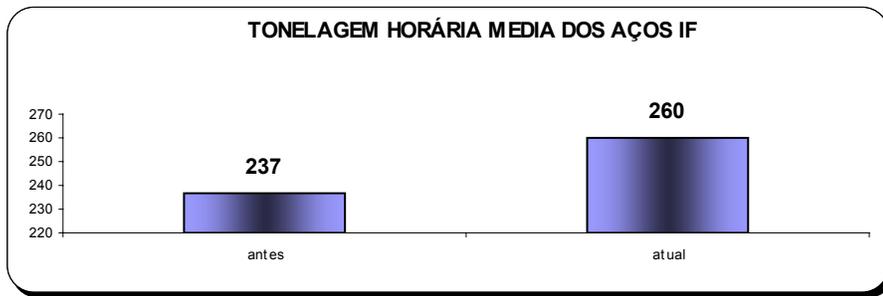


Figura 3. Aumento de tonelage horária observado após a implantação no aumento do comprimento de placa na laminação de tiras a quente de aços IF na COSIPA.

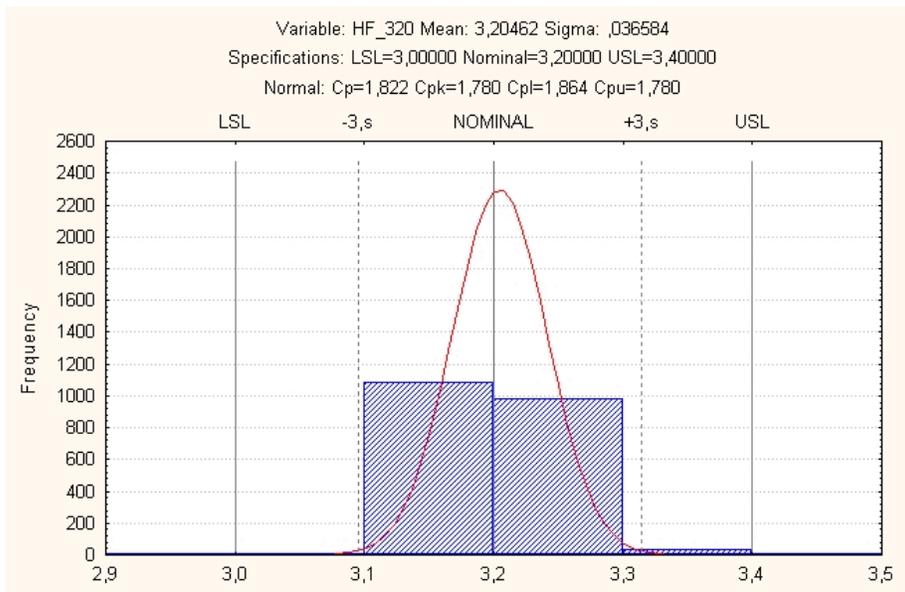


Figura 4. Capacidade do processo em termos de espessura para bobinas a quente com valor desse parâmetro igual a 3,20 mm.

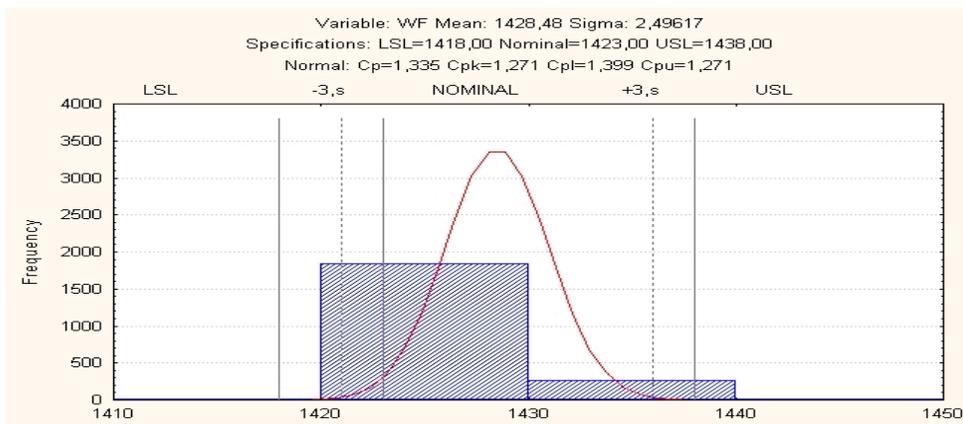


Figura 5. Capacidade do processo em termos de largura para bobinas a quente com valor desse parâmetro igual a 1423 mm.

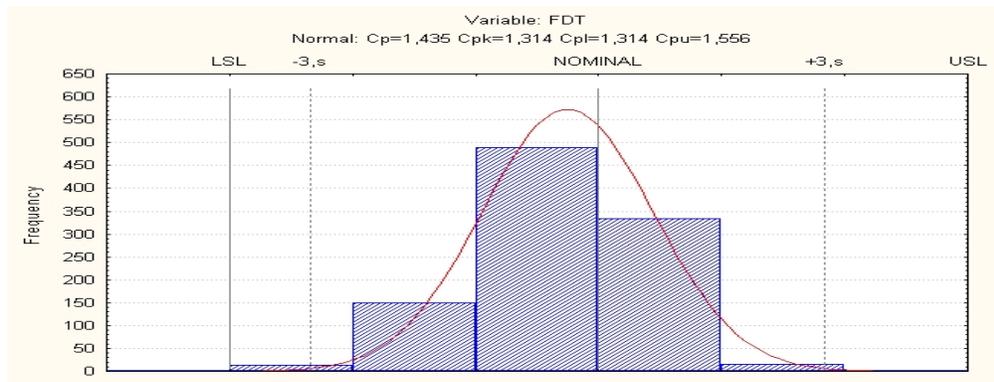


Figura 6. Capabilidade do processo em termos de temperatura de acabamento para aços IF processados no Laminador de Tiras a Quente.

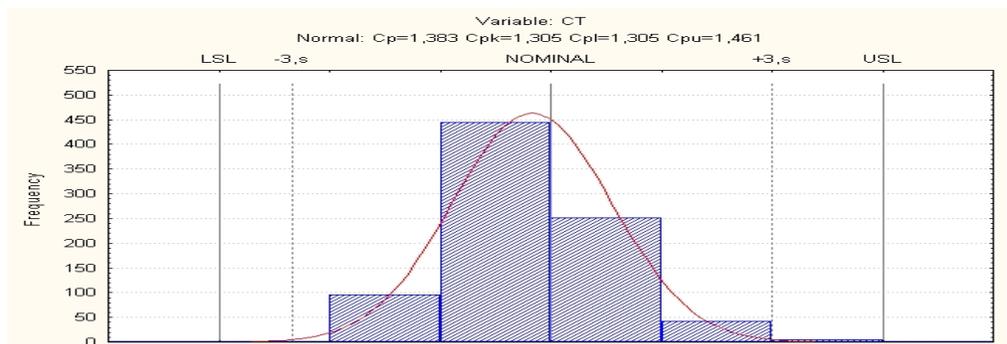


Figura 7. Capabilidade do processo em termos de temperatura de bobinamento para aços IF processados no Laminador de Tiras a Quente.

CONCLUSÕES

Os contínuos desafios enfrentados pelas montadoras automotivas refletem-se em seus fornecedores, especialmente as siderúrgicas que fabricam produtos planos. Uma de suas demandas é o fornecimento confiável de produtos com características consistentes de alta estampabilidade, como é o caso dos aços IF. Ao longo dos últimos anos a COSIPA investiu pesados esforços na produção consistente e econômica deste tipo de material. Este artigo descreve os esforços feitos na área da Laminação de Tiras a Quente para se conseguir maximização da produtividade e excelentes resultados com relação à qualidade superficial, forma, tolerância dimensional e propriedades mecânicas dos aços IF através da análise e refino dos parâmetros da laminação a quente.

Dessa forma a COSIPA disponibiliza, no mercado interno e externo, aços IF destinados a aplicações em peças de estampagem crítica com elevados níveis de qualidade e que correspondem aos anseios do restrito mercado automobilístico.

REFERÊNCIAS

- 1 GORNI, A.A. e outros. **Efeito do Processo de Laminação a Quente sobre as Propriedades Mecânicas de Aços I.F. Laminados a Frio.** 39º Seminário de Laminação, ABM, Ouro Preto, 2002, 154-164.

- 2 REGONE, W. **Simulação da Laminação a Quente de um Aço Livre de Intersticiais (IF) Através de Ensaios de Torção**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, 2001, 174 p.
- 3 MONTESANO, J. A. **Influência do Processamento Termomecânico nas Propriedades de Estampabilidade de um Aço IF**. Seminário de Pós-Graduação, UNICAMP, Campinas, Outubro de 2002, 22 p.
- 4 FONSECA, T.C. **Estampabilidade de Chapas de Aços IF após Relaminação de Encruamento e Recozimento**, Dissertação de Mestrado, UFMG, 2003, 139 p.
- 5 KIYOTA, T. e outros. Tail Crash Control in Hot Strip Mill by LQR. In: American Control Conference - ACC2003. **Proceedings...** Denver, Vol.4, June 2003, p. 3049-54