

OTIMIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA QUALIDADE COS LNE600 DA COSIPA¹

*Francisco Acacio Perez²
Marcos Roberto Soares da Silva³
Ricardo Augusto Carvalho da Silva⁴
Sérgio Funayama de Castro⁵
Antonio Carlos Nogueira⁶*

Resumo

A qualidade COS LNE600, é produzida pela COSIPA para aplicação em longarinas de alta resistência, utilizadas em aplicações tais como , parte estrutural de caminhões, ou como componente de rotores para turbinas de hidroeletricas. A Norma caracteriza-se pela elevada resistência mecânica (limite de escoamento 600 MPa a 720 MPa e limite de resistência 650 MPa a 800 MPa , com alongamento superior a 15%), bem como dobramento calço 1,5. No trabalho são apresentadas as análises efetuadas, desde a composição química e rota do aço na aciaria, tempo e temperatura no forno de placas, temperatura de bobinamento e estratégia de resfriamento no laminador de tiras à quente e amostragem. Os resultados obtidos nas propriedades mecânicas após alterações efetuadas nas diversas etapas citadas, mostraram efeito significativo da temperatura de bobinamento, estratégia de resfriamento ,na elevação das propriedades mecânicas, bem como a importância no controle do tempo e temperatura do forno de placas.

Palavras-chave: Longarinas; Propriedades mecânicas.

IMPROVEMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF QUALITY COS LNE600 AT COSIPA

Abstract

The industry is increasingly demanding stells with higher mechanical properties. This paper shows the improvement of a COS LNE600 at COSIPA, for use in longitudinal girders for automotive industry and hydroelectric. Stell chemical composition and route, steelmaking practices for these products (Ca-Si wire injection)in function of finish product application, slab reheating conditions(time and temperature), strategy after hot holling and strip cooling has been estimate.

Key words: Mechanical properties; Longitudinal girders

¹ *Contribuição Técnica ao XXXXIII Seminário de Laminação –Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Curitiba/PR, 17 a 20 de outubro de 2006*

² *Membro da ABM; Engenheiro metalurgista,M.Sc, Gerência de Controle Integrado de Produto da COSIPA*

³ *Membro da ABM; Engenheiro metalurgista, Gerência de Suporte Técnico da Laminação á quente da COSIPA*

⁴ *Membro da ABM; Engenheiro metalurgista, Gerência de Controle Integrado de Produto da COSIPA*

⁵ *Membro da ABM; Engenheiro de Materiais,M.Sc, Gerência de Controle de Suporte Técnico da Laminação à quente da COSIPA*

⁶ *Assistente de Planejamento e Programação, da Gerência de Programação da Produção da COSIPA*

1 INTRODUÇÃO

As longarinas são componentes utilizados na fabricação de chassis para a indústria automotiva, bem como para fabricação de turbinas de usinas hidroelétricas. Neste contexto as longarinas de alta resistência, têm aumentado suas aplicações, visto que materiais com elevada resistência mecânica e boa ductilidade atendem estes requisitos, e na COSIPA, a qualidade COS LNE600, é comercializada buscando atender esta necessidade do mercado.

A especificação da qualidade COS LNE600, produzida na COSIPA é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Especificação da qualidade COS LNE600

Composição química	%
C máx	0,15
Mn máx	1,70
P máx	0,030
S máx	0,015
Si máx	0,40
Al mín	0,020
Nb máx	0,12
V máx	0,12
Ti máx	0,20
Nb + V + Ti	0,25
Propriedades Mecânicas	
LE (TT) MPa	600 a 720
LR MPa	650 a 800
Al mín (%) $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$	15
Dobramento (DT) 180° calço E	1,5

O objetivo do trabalho, foi no sentido de otimizar as propriedades mecânicas, em decorrência das dificuldades em compatibilizar um material de elevada resistência mecânica e as condições de laminação à quente. A produção desta qualidade é efetuada utilizando-se aços microligados ao Nb, Ti e V, com carbono e enxôfre baixos e sua rota na aciaria utiliza-se de injetora Ca-Si no sentido de globulizar as inclusões. Portanto esta qualidade busca compatibilizar elevada resistência mecânica com boa ductilidade, e para que possamos obtê-las deve-se atuar em todas as etapas do processo de fabricação desde a aciaria até a amostragem final, com este intuito.

2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

A avaliação dos procedimentos utilizados nas diversas etapas iniciou pela reavaliação do aço especificado, com relação a elementos refinadores de grão Ti, Nb, V e neste sentido foram elevados os teores dos mesmos, no intuito de favorecer a elevação do limite de escoamento do material e pequena elevação de C e Mn favorecendo o limite de resistência. Nestes aços, um dos objetivos principais da adição

de titânio é a “proteção do nióbio” pela formação de nitretos de titânio ainda na fase de solidificação, consumindo o nitrogênio em solução, evitando a formação posterior de nitretos de nióbio, o que diminui o efeito principal deste elemento sobre a recristalização da austenita durante a laminação de acabamento. Cabe ressaltar que existem pelo menos 3 mecanismos de endurecimento que contribuem para a resistência dos aços microligados, sendo que o peso de cada um é determinado pela composição química do aço e depende do tratamento termomecânico. Considera-se o endurecimento por solução sólida do manganês, silício e o efeito do tamanho de grão dependente da história termomecânica e finalmente o endurecimento por dispersão. Outro ponto a destacar é o fato do vanádio formar precipitados de carbonitreto que controlam o tamanho de grão e produzem endurecimento por dispersão, sendo que a maior solubilidade do carboneto de vanádio na austenita confere a este elemento grande potencialidade no endurecimento por dispersão. Com relação ao nióbio trata-se de um refinador de grão eficiente, pois precipita na austenita mais facilmente. Existe também uma preocupação que parte dos elementos de liga adicionados na aciaria, formem carbonitreto não dissolvidos, atingindo partículas acima de 12 nm, prejudicando o efeito principal dos carbonitreto, ou seja, de refino de grão e endurecimento por precipitação. Portanto ao efetuar a adição dos elementos Nb, Ti e V, considera-se teores cerca de 20% a 30% acima do necessário (estequiométrico), visando compensar este efeito. O teor de carbono objetivado é abaixo de 0,11% no sentido de favorecer a ductilidade do material.

A rota utilizada na aciaria é com injetora Ca-Si, buscando globulizar as inclusões bem como a preocupação em manter o teor de S abaixo de 0,010%. Por tratar-se de aço microligado de alta resistência, as condições de processamento na aciaria são específicas com inspeção e escarfigem.

Foram efetuadas análises metalográficas de algumas bobinas, onde verificou-se a efetividade na globulização das inclusões, conforme é mostrado na Figura 1. Outro tipo de análise efetuada, foi através do uso de microsonda eletrônica no sentido de avaliarmos a presença de partículas não dissolvidas, devida a preocupação que parte dos elementos de microliga não fossem adequadamente utilizados.



Figura 1. Aspecto das inclusões globulizadas

A seguir foram analisadas as diversas etapas, posteriores a aciaria, ou seja:

A- Forno de placas

Foram analisados no enformamento basicamente 2 aspectos, ou seja, a temperatura e o tempo do material no forno de placas. Esta análise é fundamental pois para que tenhamos a efetividade da ação dos elementos microligantes adicionados ao aço, estes deverão ser solubilizados os carbonitretos, bem como o cuidado em não provocar o crescimento anormal do grão austenítico e neste contexto se não obedecermos estes parâmetros a efetividade da adição dos microligantes poderá não ocorrer conforme a necessidade para obtenção de elevadas propriedades mecânicas. Foram acompanhadas cerca de 30 placas deste material, e verificou-se que o tempo de forno mostrou-se adequado quando acima de 210 minutos.

Com relação a temperatura do forno de placas necessária para a efetiva solubilização do microligantes, foi utilizado um modelo de solubilização de aços microligados, sendo mostrada na Figura 2, a curva obtida através do modelamento para o aço utilizado.

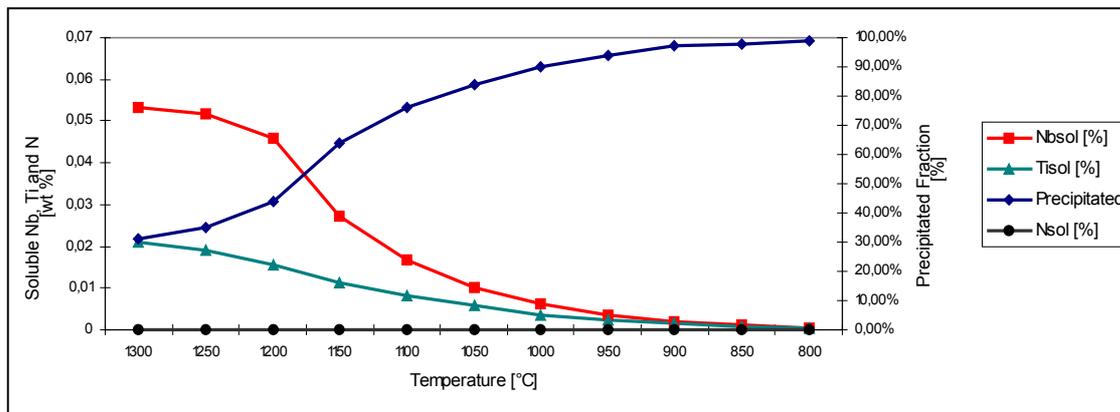


Figura 2. Curva de solubilização do aço

Observa-se através da curva que para o aço utilizado, é importante que a temperatura no núcleo da placa seja superior a 1250°C, para que tenhamos uma efetiva solubilização dos carbonitreto. Cabe salientar que a parcela não dissolvida durante o reaquecimento limita o crescimento do grão austenítico em temperaturas elevadas, enquanto a parcela dissolvida re-precipita em forma de partículas finas durante o tratamento termomecânico na laminação, resultando em refino de grão e endurecimento por precipitação.

B-Temperatura de bobinamento no laminador de tiras à quente

No intuito de compatibilizar a necessidade de abaixamento da temperatura de bobinamento e as limitações do laminador, foram laminadas bobinas de 3,00 mm de espessura desde a condição de 650°C, até 610°C, e avaliadas as propriedades mecânicas de tração no início, meio e final das bobinas, pois o material foi posteriormente processado na tesoura à quente. Os resultados obtidos serão discutidos posteriormente.

C- Estratégia de resfriamento no laminador de tiras à quente

Esta consiste na forma como deve ocorrer a abertura dos chuveiros (fluxo laminar, com controle automático de abertura) para resfriamento das bobinas, ou seja, define se estes deverão ser acionados na condição cedo (são abertos os primeiros chuveiros, de modo a obter-se um maior resfriamento no início da zona de resfriamento), normal ou tarde bem como temperatura e comprimento para definição de ponta quente. Optou-se alterar a estratégia para cedo, favorecendo desta forma a elevação das propriedades mecânicas.

Além das 3 estratégias de resfriamento, pode-se obter um perfil de temperatura diferenciada para as extremidades do material (conhecido com perfil em “U”). Na tabela 2, são mostradas a composição da estratégia de resfriamento utilizada na COSIPA.

Tabela 2. Estratégia de resfriamento, utilizada no laminador de tiras à quente

1º dígito	2º dígito	3º dígito	4º dígito	5º dígito	6º dígito
Método de resfriamento	Comp. do rabo (m)	Difer. Temp. Rabo (°C)	Comp. da ponta (m)	Difer. Temp. ponta (°C)	Controle de ponta

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram retiradas amostras do início, meio e final das bobinas e realizados ensaios de tração transversal, onde verificou-se que ao reduzir a temperatura de bobinamento em cerca de 40°C, tem-se uma elevação no limite de escoamento de cerca de 60 MPa, e no limite de resistência em cerca de 50 MPa conforme valores da tabela 4. O controle na estratégia de resfriamento mostra-se também muito importante no sentido de provocar uma maior homogeneização das propriedades ao longo da bobina, fato evidenciado ao amostrar-se as 3 posições da bobina (Início, Meio e Final), para 3 bobinas conforme mostrado na tabela 3, onde verifica-se que ocorreu uma dispersão de cerca de 20 MPa no limite de escoamento ao longo da bobina, 40 MPa no limite de resistência e 4% no alongamento.

Tabela 3. Resultado das propriedades mecânicas ao longo da bobina

	LE (MPa)		
	Início	Meio	Final
Bobina 1	618	600	605
Bobina 2	611	601	602
Bobina 3	608	604	617
	LR (MPa)		
Bobina 1	704	669	667
Bobina 2	709	666	677
Bobina 3	664	696	653
	Al (%)		
Bobina 1	24	26	27
Bobina 2	27	28	26
Bobina 3	27	25	26

A seguir são mostrados os valores médios de propriedades mecânicas na decorrentes da alteração no aço e condições de fabricação conforme mostrado nas diversas etapas.

Tabela 4. Resultado das Propriedades Mecânicas de Tração

Temp. Bobinamento (°C)	LE (MPa)	LR (MPa)	Al (%)
650	545	630	24
610	610	685	22

Cabe destacar, que houve preocupação também com relação a planicidade do material, e o acompanhando de cerca de 30 bobinas na tesoura à quente, denotou um pleno atendimento do especificado em norma, bobinando com temperaturas de bobinamento mais baixas.

4 CONCLUSÕES

- As análises mostraram que os requisitos de Temperatura do forno de placas deverão estar acima de 1250°C e o tempo acima de 210 minutos
- A temperatura de bobinamento em cerca de 40°C, afeta significativamente elevando as propriedades mecânicas,
- A estratégia de resfriamento mais adequada para elevação das propriedades mecânicas é cedo
- Após as alterações efetuadas verificou-se uma elevação 60 MPa no limite de escoamento e 50 MPa no limite de resistência da qualidade COS LNE600, adequando as condições de laminação à quente e bobinamento.

REFERÊNCIAS

- 1 Auzinger,D.- Recent development in process optimization for laminar cooling in hot strip mills-Iron and Steelmaking, vol 6,n 1 ,p 311-314, 1996
- 2 Gorni,A. A.- Efeito dos elementos de liga a resistência à deformação a quente de aços ao carbono e microligados- Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e Materiais, 2- São Paulo- 1997
- 3 Kestenbach, H. J.- Endurecimento por precipitação de carbonitretos em aços microligados-Congresso Anual da ABM, 45- 1990-Rio de Janeiro, v1 p19-36