

REDUÇÃO DE CUSTO NA PRODUÇÃO DE AÇOS ESTRUTURAIS ATRAVÉS DA ALTERAÇÃO DO MECANISMO DE ENDURECIMENTO¹

Renata Garcez Velloso²
Carlaine de Souza Fonseca³

Resumo

Inovar na indústria nem sempre significa gerar um novo processo ou produto, fazer de uma forma diferente gerando ganhos de produtividade, melhoria de qualidade e redução de custos é uma forma de inovar. Na metalurgia pode-se utilizar diferentes mecanismos de endurecimento de aços para obtenção de propriedades mecânicas. Este estudo apresenta a definição de uma nova faixa de composição química para se obter as propriedades mecânicas especificadas pela norma de um aço estrutural de média resistência, empregando mecanismos de endurecimento diferentes do projeto original do aço. Originalmente esta especificação foi desenvolvida utilizando um aço refosforado endurecido principalmente pelo mecanismo de solução sólida. A nova liga desenvolvida utiliza o mecanismo de endurecimento por refino de grão através do Nióbio como elemento microligante. O mecanismo de endurecimento por refino de grão é amplamente conhecido e utilizado para a produção de aços de alta resistência e elevada tenacidade. Este estudo proporcionou a obtenção de um produto com menor custo e maior qualidade. A redução de custo obtida foi da ordem de 11% em relação ao projeto original do aço e impactou aproximadamente 35% do volume de aços galvanizados estruturais produzidos na CSN – Volta Redonda.

Palavras-chave: Mecanismo de endurecimento; Aço estrutural; Produto galvanizado.

COST REDUCTION IN THE PRODUCTION OF STRUCTURAL STEEL CHANGE THE MECHANISM OF HARDENING

Abstract

Innovate in the industry does not always mean to create a new process or product, to do differently generating productivity gains, quality improvement and cost reduction is a way to innovate. In metallurgy industry can use different mechanisms for hardening steels obtain mechanical properties. This work presents the development of a new range of chemical composition to obtain the mechanical properties specified by the standard of a medium strength structural steel, employing mechanisms of hardening different of the original design of the steel. Originally this specification was developed using a steel with phosphorus hardened mainly by the mechanism of solid solution. The new alloy developed use the hardening mechanism by grain refining with niobium. The mechanism hardening of the grain refining is known and used for the production of steel of high strength and high toughness. This study provided to get a product with lower cost and higher quality. The cost reduction obtained was about 11% compared to the original design of steel and impacted approximately 35% the volume of galvanized structural steel produced by CSN – Volta Redonda .

Keywords: Mechanism of hardening; Structural steel; Galvanized product.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Engenheira de desenvolvimento Sr, Companhia Siderúrgica Nacional, Rodovia BR 393 Lucio Meira, Km 5001, Volta Redonda, RJ.*

³ *Gerente de Processos da Laminação, Companhia Siderúrgica Nacional, Rodovia BR 393 Lucio Meira, Km 5001, Volta Redonda, RJ.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica brasileira tem sido nos últimos tempos muito afetada pelos elevados custos da matéria prima e pela concorrência mundial. Um dos fatores de extrema importância para manter a competitividade neste setor é a inovação. Inovação tecnológica não está ligada apenas a concepção de novo produto ou processo de fabricação, está relacionada à agregação de novas funcionalidades ou características ao produto ou processo que implique melhorias incrementais e efetivo ganho de qualidade ou produtividade, resultando maior competitividade.⁽¹⁾ Uma das formas práticas de buscar esta competitividade é desenhar aços que tenham mecanismos de endurecimento que favoreçam a redução de custos e garantam o atendimento as exigências de norma, ou seja, o foco é atender com menor custo aos requisitos impostos pela norma.

Percebe-se que a melhor compreensão dos efeitos dos mecanismos de endurecimento é um bom caminho para a otimização de processo. Contudo, o presente trabalho propõe um novo mecanismo de endurecimento para processamento de uma especificação de aço estrutural de média resistência, definindo desta forma novas condições de composição química. O desenho original do material empregava um aço refosforado endurecível por solução sólida com o elemento fósforo. A proposta foi empregar um aço que contivesse o elemento nióbio, endurecível desta forma por refino de grão. A motivação para alteração do mecanismo de endurecimento desta especificação reside no elevado custo do material ao empregar esse mecanismo com este aço. O custo elevado foi impactado pela grande dificuldade no corte das placas cônicas metálicas com altos teores de fósforo, o que aumenta o volume de sucateamento de placas, elevando o custo dos aços refosforados.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

A especificação trabalhada é processada com aço galvanizado por imersão a quente muito empregado no mercado de sileiros e estruturas. O atendimento é na faixa de 0,8 a 3,0 mm de espessura. Segue na Tabela 1 os valores nominais de composição química conforme solicitação da norma.

Tabela 1. Composição química da especificação

Grau da norma	C máx %	P máx %	S máx %
Aço média resistência	0,2	0,2	0,04

Para os valores de propriedade mecânica a norma solicita conforme Tabela 2, os seguintes valores.

Tabela 2. Propriedades mecânicas da especificação

Grau do aço	LE (Mpa)	LR (Mpa)	AI %
Aço média resistência	345 mín	430 mín	12 mín

2.2 Mecanismo de Endurecimento

O princípio básico dos mecanismos de endurecimento é dificultar ao máximo a mobilidade das discordâncias. A resistência mecânica de um aço estrutural corresponde à somatória das contribuições dos diversos mecanismos de endurecimento atuantes em sua microestrutura. Dentre os principais mecanismos de endurecimento, pode-se citar endurecimento por solução sólida proporcionado pelos elementos de liga solubilizados (C, N, P, Mn, Si, Cr, Mo, etc.) e o endurecimento por refino do tamanho de grão.

O endurecimento por solução sólida decorre da presença de átomos de elementos de liga solubilizados no reticulado do elemento solvente – no caso, o ferro. Com exceção do fósforo, todos os demais provocam dilatação no reticulado. A intensidade de seu efeito no endurecimento é função dos seguintes fatores:⁽²⁾

- diferença de tamanho entre os átomos de soluto e o de solvente;
- perturbações na estrutura eletrônica, que podem estar presentes em termos da diferença no módulo de cisalhamento entre o soluto e solvente;
- concentração do soluto.

Do ponto de vista prático o efeito do endurecimento por solução sólida é diretamente proporcional ao teor em peso do soluto. A Figura 1 apresenta a relação entre a porcentagem dos elementos e o incremento do limite de escoamento. Pode-se observar o efeito eficiente do fósforo neste caso.

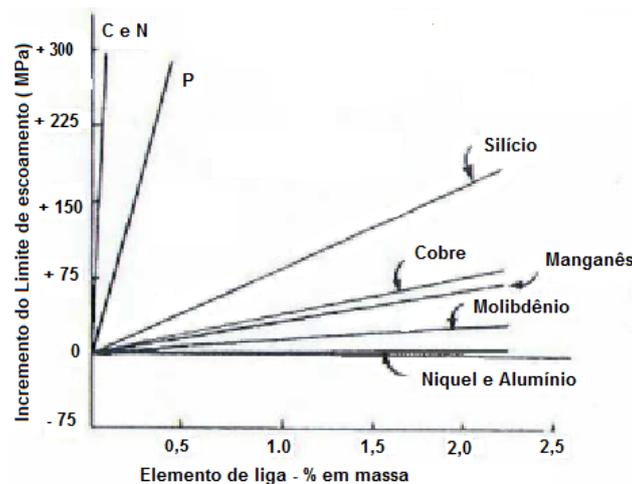


Figura 1. Efeito dos elementos de liga no limite de escoamento.⁽³⁾

O que geralmente se observa é a consideração do fósforo como impureza. Em altos teores do elemento pode acontecer a segregação de fósforo nos contornos de grão do produto acabado, o que pode levar a fragilização a frio, ou seja, baixa resiliência do aço a temperatura ambiente.⁽⁴⁾

Quanto mais elevada o teor de fósforo e de carbono maior a segregação central, levando a uma estrutura extremamente frágil no centro da placa. A segregação central natural pode ser atenuada por contramedidas no lingotamento contínuo, como por exemplo, ações mecânicas, bem como maior controle da composição química e limpidez. A Figura 2 apresenta uma segregação num produto final.

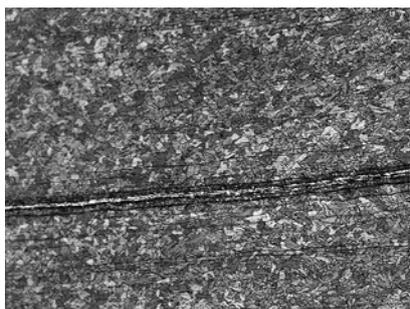


Figura 2. Exemplo segregação - Aspecto micrográfico da amostra com ataque com Klemm`s. Ampliação ao microscópio óptico 100x.

Nos aços que são microligados ao nióbio, o principal efeito endurecedor é devido ao refino de grão. O refino de grão provoca aumento dos valores de limite de escoamento do material. Quanto menor o tamanho de grão, maior a quantidade de contornos, o que dificulta a movimentação de discordâncias pelo material devido a maior desorientação cristalina encontrada nas regiões de contorno.⁽⁵⁾ O limite de escoamento está relacionado com o tamanho de grão pela relação apresentada na Eq. 1, denominada de relação de Hall - Petch.

$$\sigma_0 = \sigma_i + kD^{-1/2} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo, σ_0 a tensão de escoamento, σ_i a tensão de atrito (representa a tensão necessária para mover discordâncias livres ao longo dos planos cristalinos), k uma constante e D o diâmetro do grão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A alteração do mecanismo de endurecimento para a especificação em estudo foi fundamentada no elevado custo do material. A porcentagem de fósforo do aço empregado no desenho original do material é quase o dobro em relação ao aço refosforado de menor quantidade deste elemento produzido na CSN, isto impossibilita o corte de placas cônicas que são geradas na etapa de lingotamento, já que o fósforo elevado gerava trincas nas bordas cortadas, impossibilitando aplicação.

O problema foi identificado durante brainstorming na usina, e tem as causas conforme Figura 4.



Figura 4. Causas do aumento de custo dos aços refosforados.

A especificação com maior utilização de grau refosforado é a especificação trabalhada neste estudo e ainda o aço empregado é o que tem maior volume de produção dentre aqueles que eram impossíveis o corte das placas cônicas, conforme Figura 5.

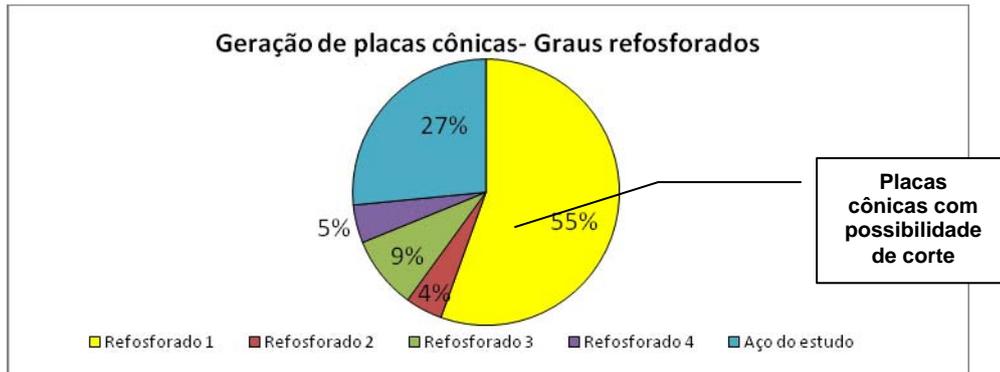
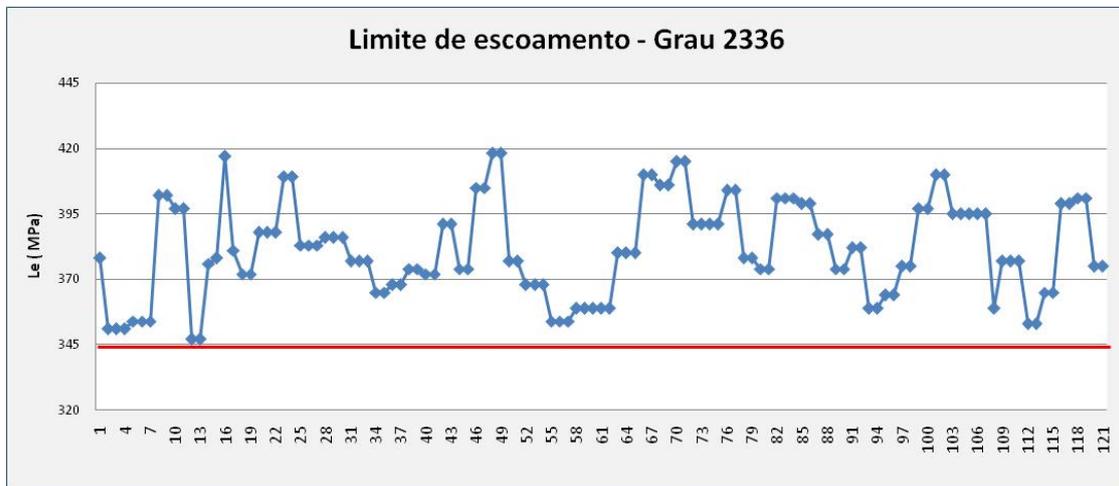


Figura 5. Distribuição do volume de placas cônicas de graus reforçados.

Esta motivação impulsionou o redesenho da especificação para garantir processamento de menor custo com outro mecanismo de endurecimento. O primeiro passo foi a realização de testes industriais empregando aço com elemento nióbio. Foram realizadas cerca de 500 t de teste. Os gráficos da Figura 6 apresentam os resultados de propriedades mecânicas.



a)



b)



c)

Figura 6. Gráficos de controle das propriedades mecânicas das bobinas de teste. a) Limite de escoamento; b) Limite de resistência; c) Alongamento.

A Figura 7 apresenta a caracterização dos materiais de teste.

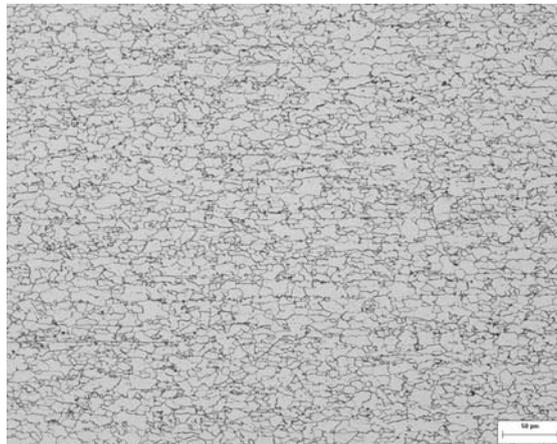


Figura 7. Análise metalográfica material de teste. Aumento 200x. TG = 10,2 ASTM.

A curva de recristalização deste material foi elaborada para auxílio na determinação das condições de processamento, conforme Figura 8. Observe que a temperatura de recristalização está entre 720 a 740 °C.

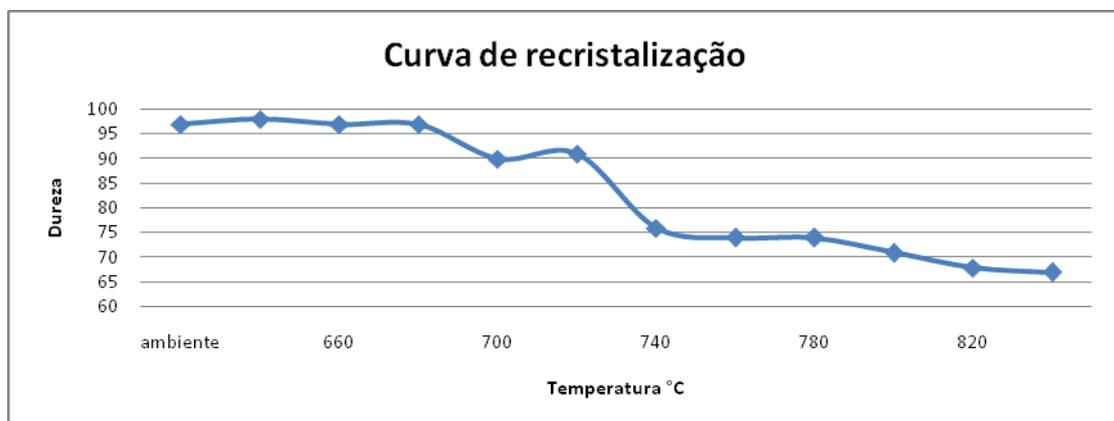


Figura 8. Curva de recristalização do aço ao níobio.

Nos testes realizados não houve nenhuma característica de processo alterada que gerasse perda de produtividade em algum equipamento. Já foi alterado o mecanismo de endurecimento em várias dimensões desta especificação e foi evidenciada uma redução no custo do material com o novo desenho de processo em relação ao desenho original de aproximadamente 11%.

4 CONCLUSÕES

O mecanismo de endurecimento para atendimento a especificação de aço estrutural com limite de escoamento mínimo de 345 MPa foi alterado de endurecimento por solução sólida com elemento fósforo para endurecimento por refino de grão com elemento nióbio. Esta alteração foi viabilizada pelo elevado custo dos aços refosforados justificado pelo grande sucateamento de placas cônicas. Este sucateamento elevado é gerado pela impossibilidade de corte em decorrência do elevado teor de fósforo. Após a realização de mais de 500 t de teste foi possível alteração de várias dimensões o que contribuiu para redução de 11% do custo do material sem detrimento das propriedades mecânicas. Este projeto acima de tudo apresenta a importância da inovação dentro dos processos siderúrgicos, o que vai ao encontro da grande necessidade de manter a competitividade e baixos custos no setor.

REFERÊNCIAS

- 1 Instrução Normativa RFB nº 1.187 de 29 de agosto de 2011 .
- 2 GINZBURG, V.B. *Basic Principles of Modeling in Metallurgical Design of Flat-Rolled Steel Products*. In: AISE Annual Convention. Proceedings. Pittsburgh, 2003, p. 1-42.
- 3 PICKERING, F. B. *Physical Metallurgy and the Design of Steels*, 1 ed., Essex: Applied Science Publishers, 1978. 275p.
- 4 CHIAVERINE, VICENTE, *Aços- Carbono e Aços – Liga*, ABM, São Paulo, 1965.
- 5 Dieter, GEORGE E., *Mechanical Metallurgy* 1928.