

EFEITOS DA VARIABILIDADE DA RELAÇÃO B/N NO AÇO ABNT 1005 PARA TREFILAÇÃO FINA ¹

Júlio César de Sousa Pena²
Joaquim Ayres Burrel³
José da Conceição de Sousa²
Sérgio Augusto de Almeida Ferreira⁴
Ricardo Amorim Pessoa²
Airyson Brás da Silva²
Gilson Silvério⁵
Wanderley Filgueiras⁵
Emanuel Villanova⁵
Thiago Luiz Coelho Furtado²

Resumo

O significativo índice de arrebentamentos durante o processo de trefilação para diâmetros reduzidos, levou ao estudo dos efeitos do nitrogênio e das alternativas de reduzi-los durante a processabilidade do aço 1005 produzido na Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora. Os aspectos negativos do Nitrogênio no aço, estão quase inteiramente associados com a presença do Nitrogênio intersticial dissolvido ou livre na ferrita. O caminho é eliminar o nitrogênio livre pela combinação com outro elemento. O Boro tem sido utilizado, pois tem mostrado alta efetividade na redução às características do envelhecimento. Por este motivo, colocou-se como objetivo a redução da variabilidade da relação B/N, bem como a garantia de níveis baixos de Nitrogênio para o aço 1005 microligado ao Boro. Após a implementação das ações, observou-se uma redução média mensal de 1,09 para 0,37 arrebentamentos/t.

Palavras-chave: Nitrogênio; Boro; Envelhecimento; Trefilação.

VARIABILITY EFFECTS OF THE B/N RATIO IN THE 1005 STEEL FOR SMALL DIAMETER DRAWING

Abstract

The significant rupture/t rate during the wire-drawing process for reduced diameters led to the study of both the effects of nitrogen and the alternatives of reducing such effects during the processing of the 1005-grade steel produced at Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora. The negative aspects regarding the existence of nitrogen in steel are almost entirely associated with the presence of free or dissolved interstitial nitrogen in the ferritic structure. The alternative is the removal of the free nitrogen through the combination with another element. Boron has been used because it has shown high effectiveness in the reduction of the characteristics of aging. For this reason, the goal is the reduction of the B/N ratio variability, as well as the guarantee of low Nitrogen levels for the 1005 steel. After the implementation of the actions, a monthly mean reduction from 1.09 to 0.37 ruptures/t was observed.

Key-words: Nitrogen; Boron; Aging; Drawing process.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista, Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora.*

³ *Engenheiro Químico, Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora.*

⁴ *Físico, Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora.*

⁵ *Técnico em Metalurgia, Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora.*

1 INTRODUÇÃO

Este projeto surgiu devido à alta variabilidade da relação B/N no aço 1005 microligado ao Boro, o que pode aumentar a susceptibilidade ao envelhecimento por Nitrogênio influenciando a trefilabilidade de arames de bitola reduzida.

Os aspectos negativos do nitrogênio no aço estão quase inteiramente associados com a presença do nitrogênio intersticial dissolvido ou livre na ferrita (Figura 1).

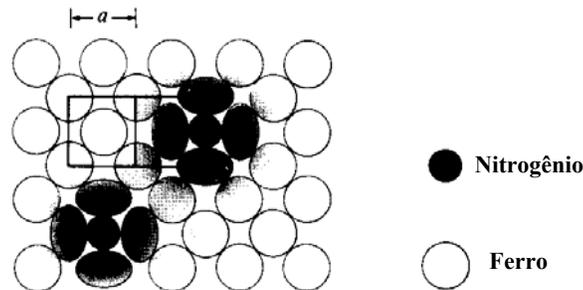
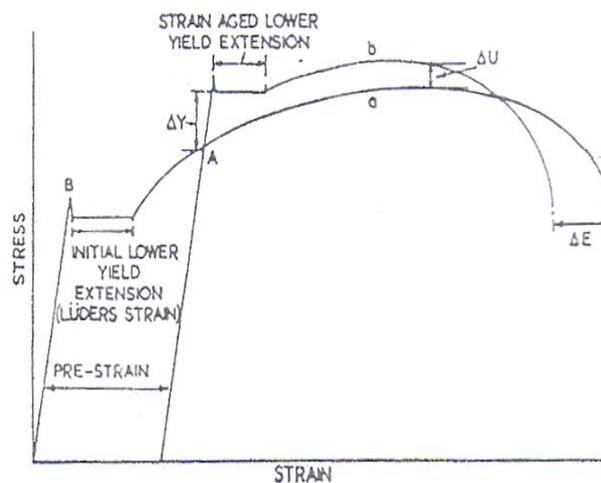


Figura 1. Representação Esquemática do átomo de Nitrogênio Livre na Estrutura Ferrítica⁽⁴⁾

A medida deste nitrogênio livre pode ser feita de muitas maneiras. Numerosas técnicas de análise química estão disponíveis, mas em geral são dispendiosas e sujeitas a resultados incertos. A medida de fricção interna é um dos métodos aceitos, mas pode estar sujeita a dificuldades de interpretação, particularmente com alto manganês. Muitos pesquisadores têm escolhido usar o método do índice de envelhecimento para quantificar o nitrogênio livre. J. D. Baird descreveu o teste do índice de envelhecimento em detalhes em 1963. Este método é mostrado esquematicamente na Figura 2.



IRON & STEEL, May 1963

Figura 2. Curva Tensão-Deformação para um aço tracionado até A, descarregado, envelhecido e então re-tracionado (curva b)⁽⁴⁾

O índice de envelhecimento, ΔY , é o aumento na tensão causado pelo envelhecimento, usualmente a 100°C, depois de se aplicar uma certa pré-deformação. Esta medida é então relacionada ao nitrogênio livre. A temperatura usual de envelhecimento é 100°C, pois já se sabe que o envelhecimento por carbono requer temperaturas acima deste nível.

Existem vários elementos formadores de nitretos disponíveis, dentre eles: Alumínio, Nióbio, Titânio, Vanádio e Boro. O boro tem mostrado uma efetividade na redução do limite de resistência dos arames de aços baixo carbono enquanto reduz significativamente as características do envelhecimento. Através da literatura técnica, foram obtidos dados de referência para comparação e definição de parâmetros a serem utilizados. Para que se tenha uma efetividade na utilização do Boro, é recomendável que este seja adicionado em proporção 1:1 com o nitrogênio do aço ⁽¹⁾. Os limites considerados para a relação B/N são: 0.8 a 1.2. Por este motivo, tem-se como objetivo manter a relação entre estes valores, mas visando sempre a proporção 1 para 1.

Com o desenvolvimento bem sucedido deste projeto, diversos ganhos serão alcançados, dentre eles: Obtenção de um material com menor susceptibilidade à rupturas e o aumento da produtividade na trefilaria devido à redução das paradas de máquina por arrebitamentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Conhecimento do Processo Gerador do Problema

O forno elétrico a arco (FEA) vaza o aço líquido bruto na panela, sendo este posteriormente encaminhado ao forno-panela (FP). Este equipamento nada mais é do que um FEA, cuja carga é o aço líquido contido na panela ⁽²⁾.

O refino secundário compreende:

- Adequação da composição química, iniciada durante o vazamento do forno elétrico e complementada na estação de forno-panela;
- Homogeneização e adequação da temperatura do aço líquido contido na panela;
- Controle de morfologia e eliminação de inclusões não-metálicas;
- Adequação dos níveis de elementos críticos, como enxofre, alumínio;
- Controle da composição das inclusões não-metálicas.

2.2 Identificação das Causas Geradoras do Problema

A análise profunda do processo gerador do problema permite conhecer qualitativamente os fatores causais deste problema.

Existem algumas ferramentas disponíveis para ajudar na identificação dos fatores causais. Neste projeto, utilizou-se a Análise de Árvore de Falhas (FTA) para se alcançar este objetivo.

A Análise da Árvore de Falhas é o método de análise de produtos e processos que permite uma avaliação sistemática e padronizada de possíveis falhas, estabelecendo suas conseqüências e orientando a adoção de medidas corretivas (preventivas) ⁽³⁾.

Seus objetivos são:

- identificação das causas primárias das falhas;
- elaboração de uma relação lógica entre falhas primárias e falha final do produto;
- análise da confiabilidade do sistema ⁽³⁾.

Na FTA parte-se do efeito e chega-se à causa. Algumas causas da alta variabilidade da relação B/N, identificadas na FTA, estão listadas a seguir:

- Falta de padrão para cálculo de adição de Fe-B;
- Condições visuais;
- Falha elétrica do Stirrer;
- Abertura do Damper;
- Mudança na programação do aço pela aciaria;
- Rinsagem;
- Descontrole do ritmo da aciaria;

Para priorizar todas as causas utilizou-se a Matriz GUT, que é uma ferramenta que permite a execução de um processo de análise, visando a identificação de aspectos para priorização, a partir de correlações entre os seguintes fatores: *Gravidade, Urgência e Tendência*.

Após o estabelecimento das pontuações, foram feitos os cálculos dos produtos correspondentes e as causas foram classificadas por ordem decrescente.

As causas que obtiveram o resultado do produto GxUxT maior ou igual a 27, foram consideradas como prioritárias para execução de medidas corretivas ou como potencial para melhoria no processo.

2.3 Quantificação da Influência das Causas Principais

Um dos itens principais identificados na FTA foi a falta de padrão para adição da liga Ferro-Boro. Daí surgiu a necessidade de correlacionar diversos fatores que influenciasssem na variabilidade da relação B/N, através de um Modelo de Regressão Linear.

A análise de regressão linear é uma das técnicas estatísticas mais utilizadas para pesquisar e modelar o relacionamento existente entre as diversas variáveis de um processo ⁽⁴⁾.

A saída do Minitab (Software utilizado para análise e controle estatístico de processos) referente a este modelo, pode ser verificada a seguir.

Tabela 1: Resultados da regressão obtidos através do Minitab

Variáveis Predictoras	Coef	SE Coef	T	P
Sem constante				
A	31.454	0.7012	4.49	0.000
B	-19.765	0.6344	-3.12	0.003
C	-0.00016846	0.00005408	-3.12	0.003
D	0.00024169	0.00005349	4.52	0.000
E	-0.00001623	0.00000701	-2.32	0.024
A*D	-0.05272	0.01169	-4.51	0.000
B*C	0.04289	0.01130	3.80	0.000
S = 0.000548543				

Como pode ser verificado, os *valores-p* estão todos abaixo de 0,05, de acordo com a regra de decisão para este teste.

Algumas observações não-usuais foram observadas durante as análises, como:

Obs	Ni	Bf
4	0.00410	0.004700
14	0.00600	0.006400
24	0.00420	0.006100
56	0.00430	0.006800

Sendo Ni, % de nitrogênio inicial e Bf, % de boro final.

As observações indicadas pelo Minitab como não usuais foram investigadas pela equipe de trabalho e não foi encontrado nenhum indício que confirmasse as suspeitas. Logo, as observações assinaladas permanecem na análise.

Houve uma convergência bastante significativa entre os valores reais e previstos pela equação de regressão. O erro absoluto médio das corridas analisadas está em 0,0004%, ou seja, 4 ppm.

Com o intuito de otimizar a quantidade de liga a ser adicionada no Forno Panela e garantir os níveis ideais para a relação B/N, fez-se um Planejamento de Experiências para utilizar a regressão como ferramenta de garantia do processo de adição.

Durante a produção das corridas-teste houve uma solicitação do operador, em não cumprir o valor estimado pela regressão. Isto ocorreu na corrida número 2, onde o modelo de regressão previu uma adição de 42 kg e o operador achou que não era suficiente. Logo, foram adicionados 77 kg e obteve-se um valor muito elevado de %B (0,0078). Esta intervenção por parte da operação foi bastante satisfatória, uma vez que provou-se que o modelo desenvolvido possui uma confiabilidade elevada.

Foi implementado um plano de ação englobando as causas identificadas anteriormente.

As medidas propostas não provocarão efeitos correlatos indesejáveis. De acordo com os resultados do teste com o Modelo de Regressão, pôde-se verificar a efetividade do mesmo, o que garante o alcance da meta geral estabelecida.

3 RESULTADOS

Paralelamente aos números, avaliamos a sensibilidade dos operadores em relação à trefilabilidade de um material enviado para a Trefilaria Interna, onde uma corrida de relação B/N de 0.97 foi processada e obtiveram-se os melhores resultados até então. Todos os operadores foram unânimes em afirmar a boa performance.

Os resultados gerais do trabalho podem ser verificados nas figuras a seguir.

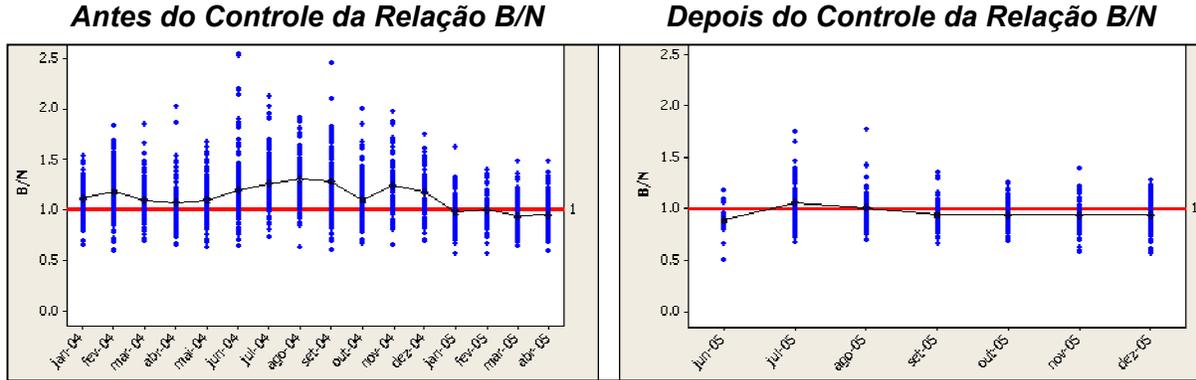


Figura 3. Resultados – Relação B/N

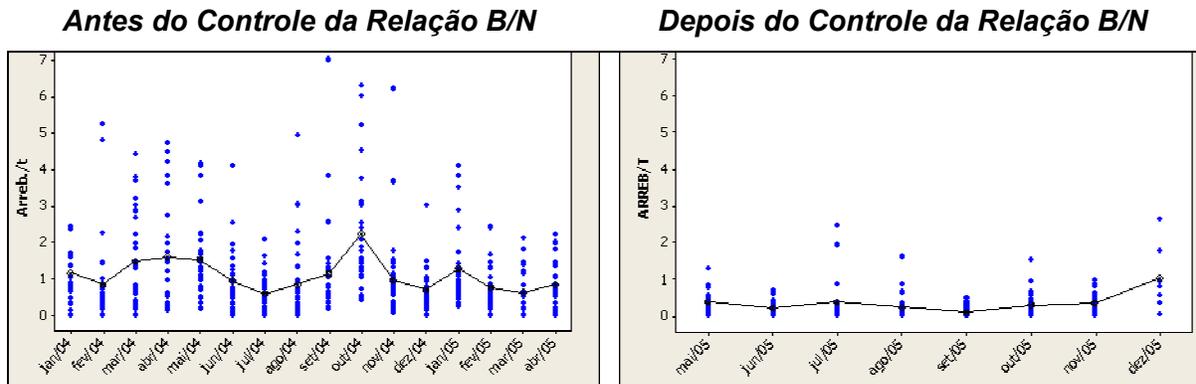


Figura 4. Resultados – Arrebitamentos/t

Na Figura 3, a linha vermelha indica o valor objetivo para a relação B/N e a linha preta representa o valor médio em cada mês citado, tanto para a Figura 3, quanto para a Figura 4.

4 DISCUSSÃO

A utilização de um elemento formador de nitreto como o Boro, mostrou-se efetivo na redução da susceptibilidade ao Envelhecimento pelo Nitrogênio para o aço ABNT 1005. Após a definição do problema, conseguiu-se identificar quais as causas principais da variabilidade da relação B/N, ou seja, quais as variáveis de processo estavam influenciando no alto teor de Boro ou no alto teor de nitrogênio. A partir disto, pôde-se atacar estas causas, como por exemplo a abertura do Damper do Forno Elétrico, agitação e rinsagem com gás no Forno Panela, nível de escória, dentre outras.

A obtenção de uma redução da dispersão com conseqüente deslocamento da média para o valor alvo, possibilitou um maior controle dos efeitos causados pelo envelhecimento por nitrogênio. Utilizando informações da literatura e experimentos internos, definiu-se como faixa de trabalho para a razão B/N, os valores entre 0,8 e 1,2. Como resultado, pôde-se verificar a redução dos índices de arrebitamento na trefilação do material em questão.

5 CONCLUSÃO

As ferramentas estatísticas e de qualidade utilizadas para o desenvolvimento deste projeto, foram de fundamental importância para garantir o alcance do objetivo estabelecido. Além disso, serão imprescindíveis para a manutenção e melhoria dos níveis da relação B/N do aço 1005 microligado ao Boro.

Com o controle da relação B/N, a susceptibilidade ao efeito do Envelhecimento é consideravelmente reduzida, conforme descrito no início do relatório. Isto tem uma ligação direta com a processabilidade do fio-máquina na trefilação.

Para a garantia dos valores da Relação B/N entre os níveis especificados, foram inseridas as ações referentes, no Padrão Técnico de Processo dos aços para trefilação fina geral.

Agradecimentos

Aos colegas da Belgo Arcelor Brasil Juiz de Fora que contribuíram com sugestões efetivas para a realização deste trabalho. Ao orientador do programa Seis Sigma, Carlos Eduardo da Silva Starling, os agradecimentos do profissional Júlio César de Sousa Pena, pela ajuda na conclusão dos projetos de gestão avançada pela qualidade Black Belt.

REFERÊNCIAS

- 1 GLODOWSKI, Robert J.. **Nitrogen Strain Aging in Ferritic Steels**. Wire Journal International, p. 70, 2004.
- 2 VILELA, Antônio Cezar Faria; SOARES, Rodrigo Belloc. **Lingotamento Contínuo de Blocos e Tarugos**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2006.
- 3 Apostila do Curso do Programa Seis Sigma Black Belt, **Sessões 1, 2 e 3**, 2004. Instituto de Desenvolvimento Gerencial, INDG 2004, Turma 12 – Belgo Arcelor Brasil, Belo Horizonte.
- 4 WERKEMA, Maria Cristina Catarino; AGUIAR, Sílvio. **Análise de Regressão: Como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Otoni – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.