

“ AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS METALÚRGICOS E USO DO “COILBOX” NA LAMINAÇÃO A QUENTE DE AÇOS “INTERSTITIAL FREE” (IF) ESTABILIZADOS AO TITÂNIO (1)”

Gladistone de Souza Guerra⁽²⁾
Charles de Abreu Martins⁽²⁾
Cristóvam Paes Oliveira⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho trata dos efeitos de parâmetros termomecânicos, em um laminador de tiras a quente, com “coilbox”, no comportamento mecânico e microestrutural de um aço “*Interstitial Free*” (IF), estabilizado ao titânio. Este estudo torna-se de grande importância, uma vez que a influência do “coilbox”, neste tipo de aço, foi pouco explorada no mundo e ainda não estudada no Brasil. Na avaliação dos resultados, foram utilizados ensaios mecânicos (tração, dureza e embutimento) para determinação das propriedades mecânicas do aço laminado e microscopia ótica e eletrônica, para caracterização metalográfica do mesmo. Os resultados mostraram que todos os parâmetros analisados (temperatura de bobinamento, temperatura de aquecimento e “coilbox”), exerceram influência sobre as propriedades mecânicas do aço estudado. Dentre os parâmetros analisados, a alteração da TB foi a que mostrou maior intensidade sobre a modificação das propriedades mecânicas medidas, seu aumento implicou na redução dos valores de limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e dureza, associado à um aumento nos valores de alongamento (AL) e embutimento. Os resultados dos ensaios metalográficos confirmaram o comportamento mecânico em cada condição analisada; as alterações encontradas podem ser explicadas, principalmente, devido ao tamanho de grão ferrítico e à presença, tamanho e distribuição dos precipitados de titânio.

Palavras-chave: “*Interstitial Free*” (IF), “coilbox” e precipitados de titânio.

(1) Contribuição Técnica ao 41º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos; Joinville, SC, 26 a 28 de outubro de 2004.

(2) MSc. Engenheiro Metalurgista, Especialista em Desenvolvimento de Produto do Departamento de Metalurgia – CST.

(3) DSc., Engenheiro Metalurgista, Professor Adjunto da Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP-CETEC-UEMG (REDEMAT).

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística vem ao longo dos anos, modificando a forma e o projeto de fabricação dos veículos e, conseqüentemente, provocando um crescimento das exigências do comportamento mecânico das chapas de aço para tal aplicação.

Dentre as opções de aços com grande capacidade de conformação, os aços IF (*Interstitial Free*), têm desempenhado papel de destaque, em razão da sua excelente estampabilidade, aliada à capacidade de fixação da forma, ausência de envelhecimento e patamar de escoamento.

A crise do petróleo na década de 70 impulsionou o desenvolvimento da indústria automobilística, sendo que um dos requisitos que se tornou extremamente importante, foi o peso dos automóveis que estava diretamente relacionado com o consumo de combustível, insumo em escassez nesta época.

(Elias, 1973), relataram a produção de aços IF, com teores variando de 0,005 a 0,010 %C, desgaseificados a vácuo, com uma proposta inovadora de adição conjunta de titânio e nióbio, em quantidades suficientes para aprisionar os elementos intersticiais presentes.

Em termos de novidades tecnológicas na produção de tiras a quente de aços IF no Brasil, cita-se a introdução de um novo equipamento chamado “*coilbox*”, o qual foi tema de estudo neste trabalho. A CST (Cia. Siderúrgica de Tubarão) é a primeira empresa no Brasil a utilizar esta tecnologia, a seu favor, para produção de bobinas a quente.

Em linhas gerais, o “*coilbox*” é uma bobinadeira sem mandril, localizado à frente da tesoura para corte de pontas, que induz o esboço a formar uma bobina. Desta maneira, há uma concentração de massa a altas temperaturas promovendo alguns benefícios tais como a homogeneização de propriedades ao longo de todo o esboço, além de influenciar na formação, tamanho e distribuição de pequenos precipitados de titânio que, certamente, influenciarão nas propriedades finais da tira a ser formada em etapas posteriores a laminação a quente.

Em suma, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência das temperaturas de reaquecimento e bobinamento, com utilização ou não do “*coilbox*”, sobre o comportamento mecânico e microestrutural de um aço IF (*Interstitial Free*) estabilizado ao titânio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi dividido em três grandes etapas: o processamento termomecânico, os ensaios mecânicos e as análises metalográficas. O processamento termomecânico foi simulado em um laminador piloto de tiras a quente e consistiu das seguintes etapas:

- Reaquecimento dos corpos de prova;
- Laminação a quente;
- Simulação do “coilbox”;
- Resfriamento controlado;
- Simulação do bobinamento.

Os ensaios mecânicos realizados foram: tração [(limite de escoamento (LE em MPa), limite de resistência (LR em MPa), alongamento(AL em %)]; dureza Vickers e embutimento Erichsen (profundidade da calota em milímetros). As análises metalográficas realizadas foram: microscopia ótica (determinação do tamanho de grão) e microscopia eletrônica de varredura (análise da natureza, morfologia e distribuição dos precipitados de titânio).

O material utilizado neste trabalho foi um aço IF estabilizado ao titânio, fornecido pela CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão), cuja composição química encontra-se na tabela abaixo:

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Ni	%N	%Ti
0,0027	0,006	0,11	0,011	0,008	0,053	0,010	0,0041	0,068

Tabela I - Composição química do aço IF-Ti pesquisado

Os corpos de prova(CP's) foram confeccionados na dimensão de 50x50x50mm, furados no centro para acoplamento dos termopares, através dos quais, foram obtidos os perfis térmicos gerados durante a simulação da laminação em escala piloto.

Neste trabalho simulou-se a utilização ou não do “coilbox”, associado a duas TRP's ou temperatura de reaquecimento de placas, (1170⁰C e 1220⁰C) e duas TB's ou temperatura de bobinamento, (650⁰C e 550⁰C).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados são apresentados a seguir, sendo valores médios relativos a 10 ensaios, para cada condição.

Os valores de LR e Dureza, medidos, mostraram o mesmo comportamento do LE, conforme demonstra a figura 01. A partir da comparação entre os valores de LE obtidos, observou-se a redução no valor do LE com o aumento da TB, em todas as condições, independente da TRP e utilização do “coilbox”. Esta tendência de queda pode ser observada na figura 01, através dos diferentes patamares de LE apresentados entre os dois grupos de bobinamento utilizados, que são identificados por dois grandes círculos pontilhados. Enquanto que a queda no LE com a redução dos valores de TRP, pode ser observada também na figura 01, através da comparação entre os pares de símbolos. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que os mecanismos metalúrgicos fundamentais que causaram elevação nos valores de LE foram o refinamento no tamanho dos precipitados e no tamanho de grão ferrítico. Tais fenômenos têm a mesma influência sobre os valores de LR e dureza.

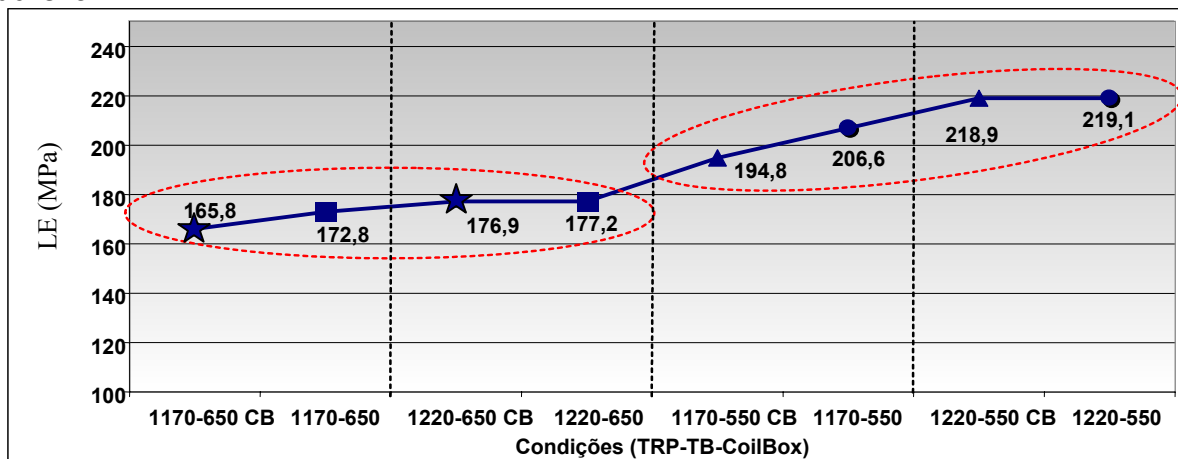


Figura 01 - Limite de escoamento em função das condições simuladas.

Já no caso do alongamento, o comportamento dos valores medidos, mostrou uma tendência inversa daquela observada no LE, conforme figura 02. Tal fato pode ser explicado pelo mesmo mecanismo anterior, observado para a variação do LE e do LR. Tais fenômenos tendem a reduzir o alongamento e a capacidade de embutimento dos aços. Assim a propriedade de embutimento mostrou comportamento semelhante ao encontrado para o alongamento.

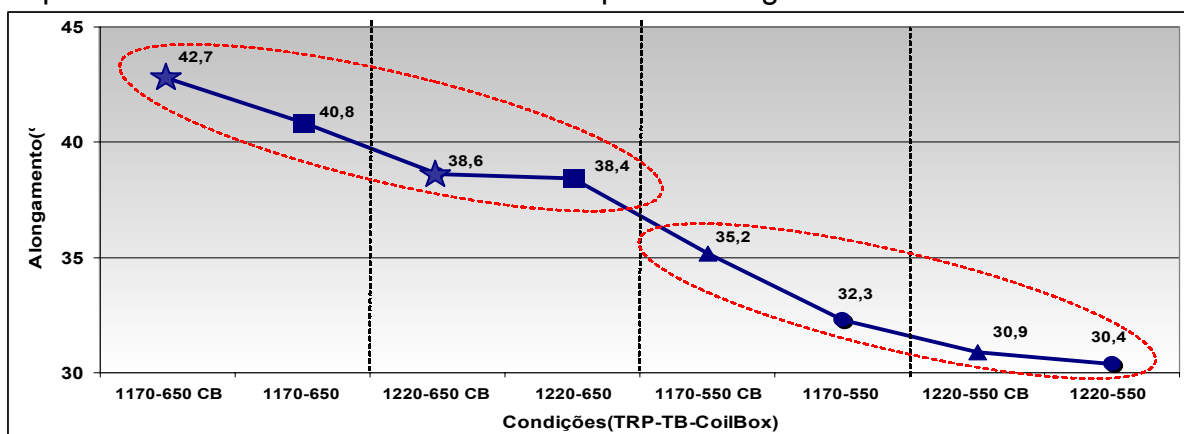
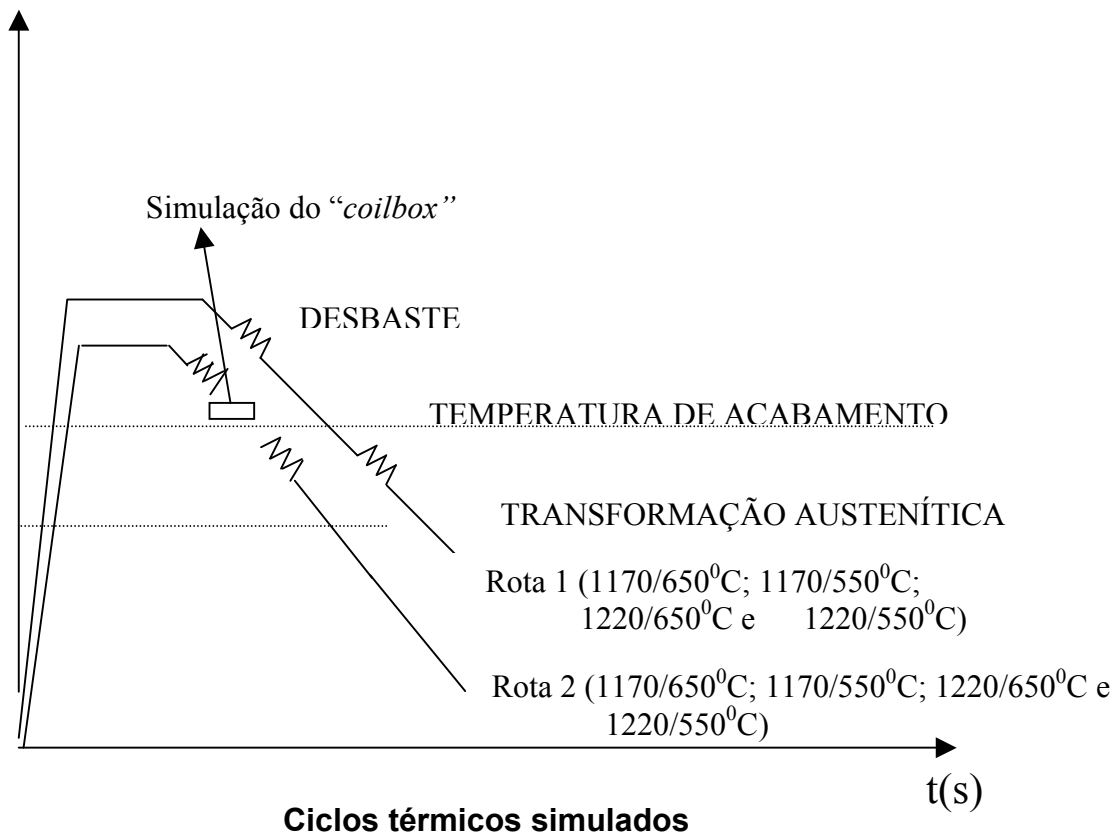


Figura 02 - Alongamento em função das condições simuladas



passes	ROTA 1			ROTA 2		
	Esp. inicial (mm)	Esp. final (mm)	Temp. °C	Esp. inicial (mm)	Esp. final (mm)	Temp. °C
1	50	45	1170	50	45	1170
2	45	38	1100	45	38	1120
3	38	31	1075	38	31	1075
Simulação do CoilBox (1 minuto e 30 segundos)						
4	31	25	1050	31	25	1050
5	25	12	-	25	12	-
6	12	7	-	12	7	-
7	7	3	910	7	3	910

Seqüência da redução e temperatura dos passes

4. ENSAIOS METALOGRAFICOS

Após a análise dos resultados obtidos nos ensaios relatados, foram realizados ensaios metalográficos, com o objetivo de se avaliar, do ponto de vista microestrutural o comportamento mecânico apresentado.

Os resultados encontrados confirmaram aqueles obtidos nos ensaios mecânicos, já discutidos neste trabalho. As seqüências de micrografias, apresentadas nas figuras 03 e 04, mostram alguns aspectos importantes, sobre o ponto de vista microestrutural, encontrados nas análises por microscopia ótica e eletrônica de varredura. Assim, estão bem caracterizados a natureza, a forma e distribuição dos precipitados de titânio e ainda o tamanho de grão ferrítico que, em última análise, são os fatores determinantes do comportamento mecânico do material em estudo.

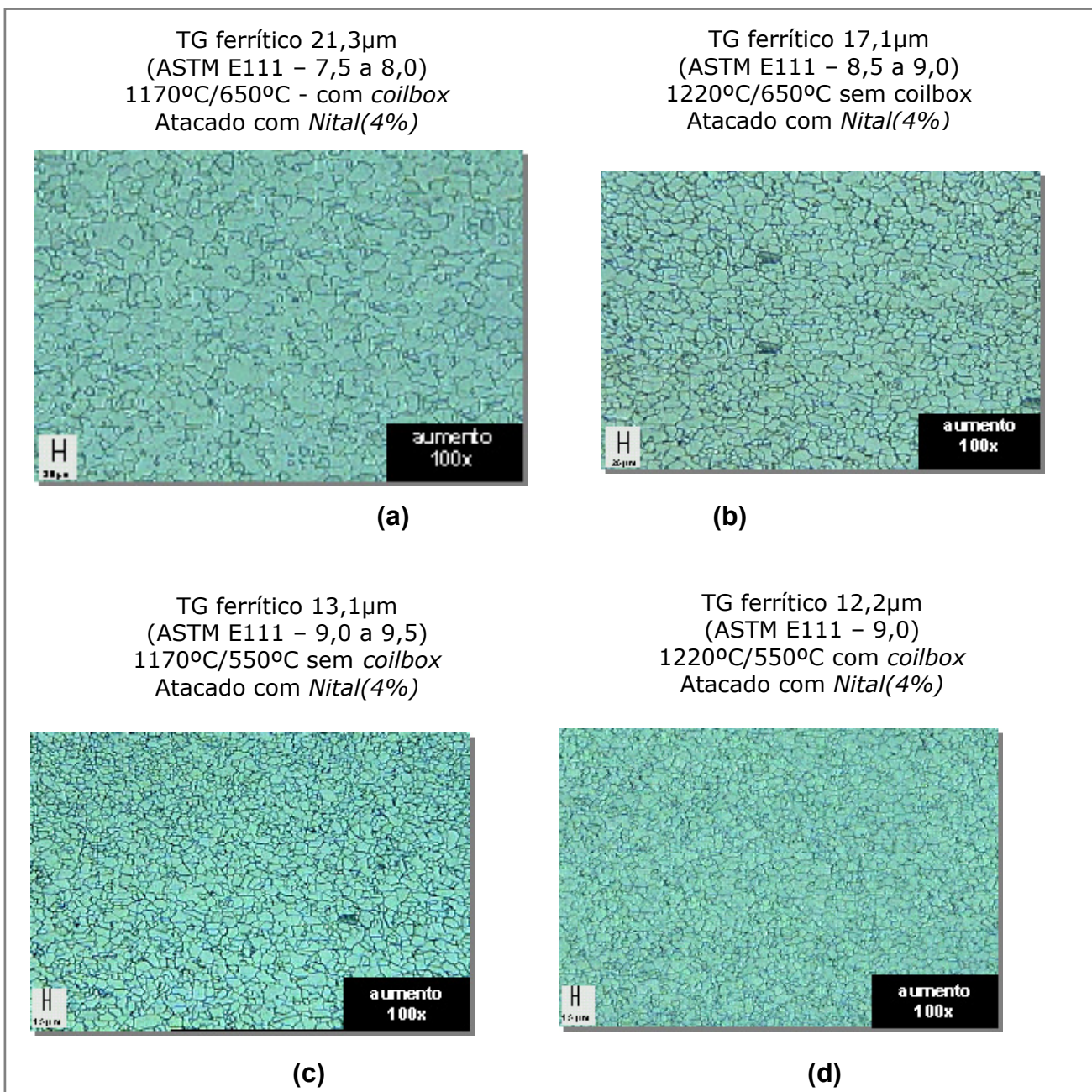


Figura 03 - Microscopia ótica representativa das condições analisadas

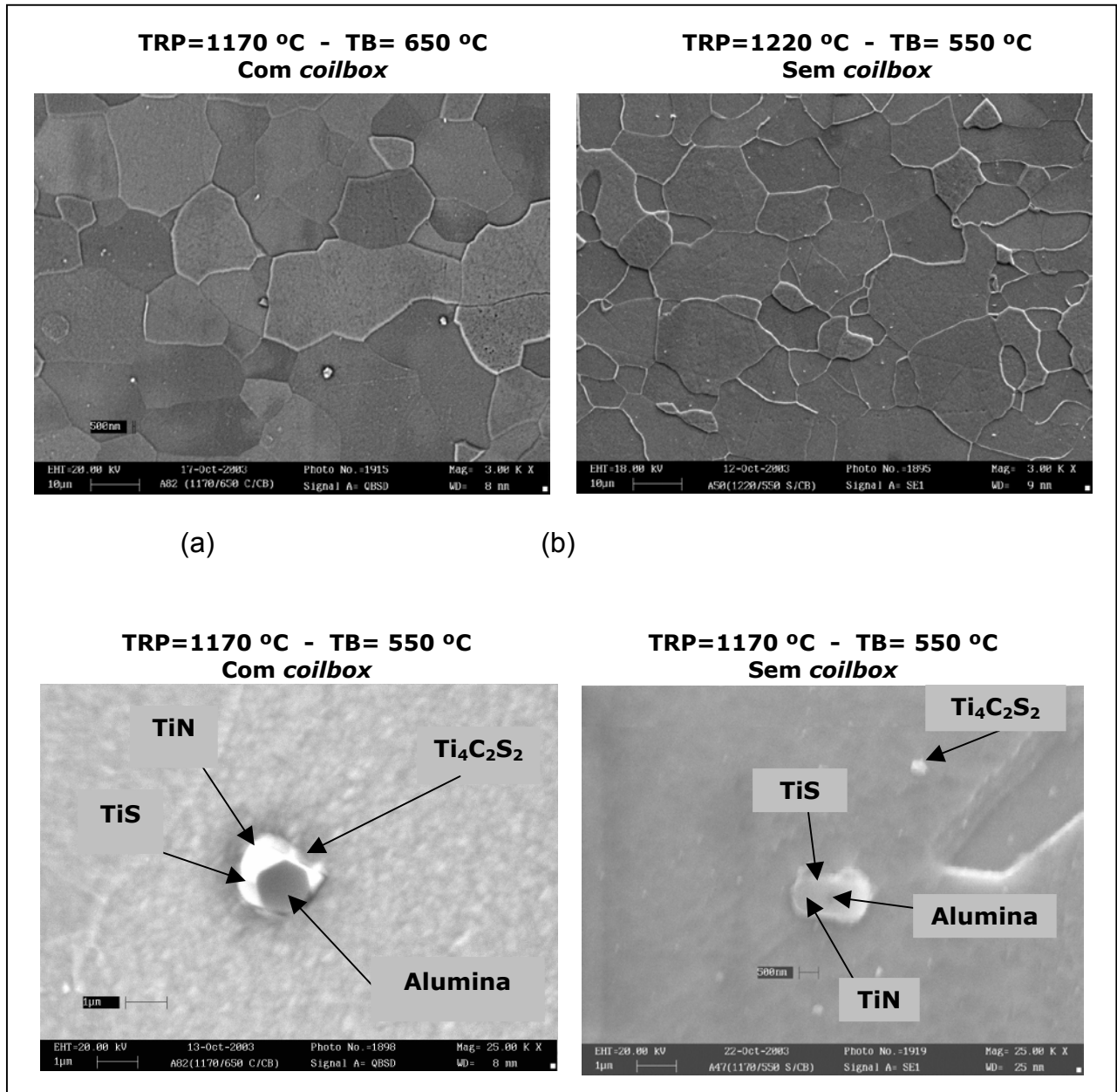


Figura 04 - Microscopia eletrônica de varredura representativa das condições analisadas

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais obtidos, as seguintes conclusões podem ser enumeradas:

- A laminação piloto, com simulação de “*coilbox*”, adotada no presente trabalho, se apresentou eficaz, pois permitiu avaliar a influência das variáveis de laminação nas propriedades dos aços IF-Ti. Cabe ainda a comparação dos resultados obtidos, com a laminação em escala industrial, que no momento encontra-se em fase de estudos para otimização de práticas operacionais que viabilizem a execução das variáveis simuladas neste trabalho, tornando-se então, por hora, infactível esta comparação.
- Todos os três parâmetros de processamento termomecânico avaliados, temperatura de reaquecimento (TRP), temperatura de bobinamento (TB) e utilização do “*coilbox*”, mostraram ter influência efetiva nos resultados dos ensaios mecânicos e metalográficos avaliados. Dentre estes três parâmetros avaliados, a TB foi o que se mostrou mais influente no resultado das propriedades mecânicas medidas no produto laminado a quente.
- O aumento da TB ocasionou diminuição nos valores de limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e dureza e ao mesmo tempo um aumento no alongamento e no embutimento deste aço, causado, basicamente, pelo aumento no tamanho de grão ferrítico.
- A alteração da TRP teve influência direta nos resultados das propriedades mecânicas avaliadas neste trabalho. Valores de TRP mais baixas, também causaram uma diminuição nos valores de LE, LR e dureza e ao mesmo tempo um aumento no alongamento e no embutimento deste aço, causado, principalmente, pela presença de precipitados de titânio maiores e menos dispersos.
- A utilização do “*coilbox*” também influenciou nos resultados das propriedades mecânicas avaliadas neste trabalho. Nas condições em que este equipamento foi simulado, percebeu-se uma diminuição nos valores de LE, LR e dureza e ao mesmo tempo um aumento no alongamento e no embutimento deste aço, causado principalmente pelo coalescimento de precipitados de titânio.

- Considerando a variação simultânea de TRP, TB e *coilbox*, os resultados dos ensaios mecânicos indicaram que menores valores de LE, LR e dureza, associados a maiores valores de alongamento (AL) e embutimento, foram alcançados quando se utilizou TRP baixa, TB alta e o “*coilbox*”.
- Os resultados dos ensaios metalográficos confirmaram o comportamento mecânico em cada condição analisada neste trabalho, principalmente devido ao tamanho de grão ferrítico e à presença, tamanho e distribuição dos precipitados de titânio. Tamanho de grão ferrítico maior, associado à presença de precipitados de titânio em tamanhos maiores e menos dispersos, acarretaram em menores valores de LE, LR e dureza e maiores valores de AL e embutimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ELIAS, J.A; HOOK, R.E. (1973). Vacuum-Degassed Low Carbon Steel and its Production Method, U.S. Patent nº 3, 764, 875, patenteada pela Armco Steel Corporation, apud
- 2- HUBERT, R. A., DUPUIS, G. and TAILLARD, R.; (2000). Precipitation Reactions in Ti-IF Steels. A comparison between Austenite and Ferrite, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PROCESSING, MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF IF STEELS, p. 45-54.
- 3- KORABI T; JOHNSON H.B. (1999). New developments and expand *coilbox* applications. STELTECH Ltda, CANADA.
- 4- SUBRAMANIAN, S. V. and GAO, J. (1994). Effect of precipitate size and dispersion on lankford values of titanium stabilized IF steels. In: INTERNATIONAL FORUM FOR PHYSICAL METALLURGY OF IF STEELS, p.66-103.
- 5- TAKESHI, H. (1994). Metallurgical Aspects on Interstitial- Free Sheet Steels from Industrial Viewpoints. In: INTERNATIONAL FORUM FOR PHYSICAL METALLURGY OF IF STEELS, p. 1-8.
- 6- WILSHYNSKY, D.O; KRAUSS, G; MATLOCK, D.K. (1994). Recrystallization Behavior of Interstitial-Free Sheet Steels. In: INTERSTITIAL- FREE SHEET STEEL: PROCESSING, FABRICATION AND PROPIERTIES, p.69-79.
- 7- YANG, X.; VANDERSCHUEREN, D.; DILEWIJNS, J.; STANDAERT, C.; HOUBAERT, Y.; (1996). Solubility products of titanium sulphide and carbosulphide in Ultra-low Carbon Steels, ISIJ INTERNATIONAL, Vol. 36, p. 1286-1294.

“EVALUATION OF METALLURGICAL PARAMETERS AND COILBOX USE ON IF-Ti HOT ROLLING⁽¹⁾”

Gladistone de Souza Guerra⁽²⁾
Charles de Abreu Martins⁽²⁾
Cristóvam Paes Oliveira⁽³⁾

ABSTRACT

This paper concerns about the effects of thermo-mechanical parameters in a Hot Strip Mill equipped with a coil box on mechanical and micro-structural behavior of titanium stabilized interstitial free steel (Ti-IF). This subject becomes more important once it was weakly explored around the world and has never been studied before in Brazil. The results were evaluated through the mechanical properties determination (tensile test, Erichsen and hardness) and metallographic characterization, using optical and electronic microscopy. These results showed that all parameters analyzed (Coiling Temperature (CT), Re-heating temperature and coil box), had influence on the mechanical properties of the steel studied. Among them, CT was the one that showed major intensity under the mechanical properties values. Thus, increasing its values was obtained a reduction of yield point, tensile strength and hardness, at same time that a increase on elongation and hardrawing were obtained. This mechanical behavior was confirmed during the metallographic tests mainly due to ferritic grain size and occurrence, distribution and size of the titanium precipitates.

Key-words: *Interstitial Free (IF), coil box and titanium precipitates.*

(1) Technical contribution for 41st Rolling Seminar – Process and Rolled and Coating Products; Joinville, SC, 26 - 28 july, 2004.

(2) MSc. Product Development Engineer – Metallurgy Department – CST.

(3) DSc, Metallurgist Engineer, Titular Professor of Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP-CETEC-UEMG (REDEMAT).