

# DESENVOLVIMENTO DE AÇOS PARA APLICAÇÃO EM CHAPAS GROSSAS DE ALTO VALOR AGREGADO NA COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO (CST) <sup>(1)</sup>

Wilson Guilherme Barcelos de Aquino Ney <sup>(2)</sup>

Everaldo Antônio Caldeira <sup>(2)</sup>

Anderson Peter Morelato <sup>(3)</sup>

José Rubens Ribeiro Filho <sup>(4)</sup>

Carlos Alberto Perim <sup>(5)</sup>

## RESUMO

Nos últimos anos, vem se observando uma crescente demanda mundial por placas de aço para aplicações mais nobres, como aços estruturais de alta resistência e tubos API X70 e superiores. Com esta demanda por materiais de alto valor agregado, surgem novas oportunidades de ganho para os produtores de aço em todo o mundo, mas, em contrapartida, são necessários novos investimentos em equipamentos e desenvolvimentos de procedimentos especiais, que vão desde a produção do aço líquido até a laminação das chapas para a aplicação final.

Alinhada com esta tendência mundial, a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) vem investindo em novos equipamentos, no desenvolvimento de procedimentos especiais, no treinamento de pessoal e no intercâmbio de informações com seus clientes, visando a melhoria contínua da qualidade das placas e chapas grossas produzidas. Esta estratégia vem garantindo à CST uma posição de destaque, como fornecedor de placas de aço com níveis de qualidade compatíveis àqueles obtidos por fornecedores benchmarking mundial de placas para laminação em chapas grossas.

Palavras-chave: chapas grossas, materiais de alta resistência, API X-70

<sup>(1)</sup> Trabalho a ser apresentado no XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 17, 18 e 19 de maio de 2004, em Salvador – BA.

<sup>(2)</sup> Engenheiro Metalurgista, Especialista de Desenvolvimento de Produto da Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST.

<sup>(3)</sup> Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Membro da ABM, Especialista da Divisão de Assistência Técnica da Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST

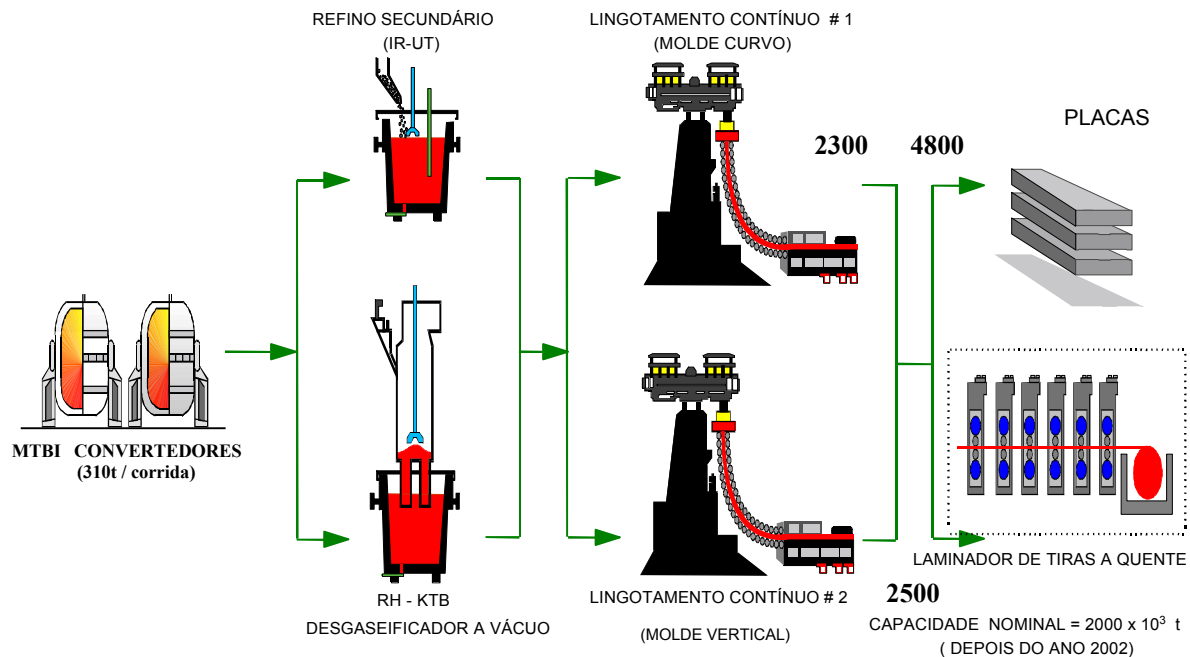
<sup>(4)</sup> Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista da Divisão de Assistência Técnica da Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST

<sup>(5)</sup> Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Membro da ABM, Especialista da Unidade Técnica da Aciaria da Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST

# 1 - INTRODUÇÃO

A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) é uma usina integrada, localizada na cidade de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo, com uma produção anual de 5 milhões de toneladas de aço líquido.

A aciaria da CST produz placas de aço para uma variada gama de aplicações, com elevados requisitos de qualidade interna e superficial. As aplicações das placas produzidas pela CST compreendem desde materiais para operações de estampagem extra-profunda à materiais estruturais com elevados requisitos de propriedades mecânicas (i.e. estruturais gerais e de média e alta resistências, construção naval, tubulações para oleodutos e gasodutos, etc.).



**Figura 01: Fluxo de produção aciaria da CST**

Tabela 01: Principais características dos equipamentos da aciaria da CST:

Equipamento	Início de Operação	Função	Características
Convertedores LD	Nov/83	Fusão e refino da carga metálica (ferro-gusa + sucata), através do sopro de Oxigênio, objetivando descarburização. Durante o sopro de Oxigênio ocorre a oxidação dos elementos contidos no ferro-gusa (Carbono, entre outros), gerando elevação da temperatura do metal (fase fusão) e eliminação dos elementos indesejáveis.	- Capacidade: 310 t (máx); - Sopro combinado: sistema MTBI (argônio / nitrogênio); - Slag wash: White Martins (praxair).
Desgaseificador à Vácuo (RH)	Mai/98	- Descarburização livre e forçada;	- Capacidade anual: 2.000.000 t; - Sistema de vácuo;

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoção de Hidrogênio;</li> <li>- Tratamento rápido;</li> <li>- Aquecimento químico;</li> <li>- Ajuste de composição química e temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de lanças;</li> <li>- Sistema de ferro-ligas;</li> <li>- Tempos de tratamento: 12' (light), 23~25' (IF), 25-30' (de-H), 35~50 (fins elétricos).</li> </ul>
Unidade de refino (IR-UT)	Mai/95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimento químico;</li> <li>- Resfriamento através da adição de sucata canivete;</li> <li>- Agitação (borbulhamento de gás);</li> <li>- Ajuste de composição química;</li> <li>- Injeção em fio (Al e Ca-Si);</li> <li>- Injeção de pó para dessulfuração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de Al – Aquecimento de corridas = 90 t/mês;</li> <li>- Tempo de tratamento = 12' (BC) ~ 30' (API);</li> <li>- Controle de temperatura pela adição de sucata canivete.</li> </ul>
Lingotamento Contínuo #1 (MLC#1)	Abril/95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo de resfriamento controlado do aço líquido, vazado em molde, solidificando-o em formas e dimensões previamente definidas, de forma totalmente automatizada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade do distribuidor: 45 t;</li> <li>- Controle de fluxo de aço: slide gate;</li> <li>- Comprimento metalúrgico: 30,5m;</li> <li>- Dimensões das placas: espessuras de 200 mm, 225 mm e 250 mm e larguras de 800 mm a 1650 mm;</li> <li>- Sistema de resfriamento: ar misto.</li> </ul>
Lingotamento Contínuo #2 (MLC#2)	Fev/98	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo de resfriamento controlado do aço líquido, vazado em molde, solidificando-o em formas e dimensões previamente definidas, de forma totalmente automatizada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade do distribuidor: 60 t;</li> <li>- Controle de fluxo de aço: slide gate;</li> <li>- Comprimento metalúrgico: 35,2 m;</li> <li>- Dimensões das placas: espessuras de 200 mm, 225 mm e 250 mm e larguras de 750 mm a 1050 mm (twin) e 1050 a 2100 (single);</li> <li>- Sistema de resfriamento: ar misto.</li> <li>- Molde ressonante.</li> </ul>

## 2 - HISTÓRICO

A CST iniciou a produção de aços para aplicação em Chapas Grossas em 1984, ainda via lingotamento convencional. Naquele momento foi elaborado um plano de testes na Usiminas e Cosipa para a caracterização da qualidade das CG's de placas da CST de aços acalmados ao Alumínio Silício e semi-acalmados.

Em meados de 1984, foram iniciados os primeiros fornecimentos de placas de aços semi-acalmados (SA), acalmados ao alumínio (AC) e acalmados ao alumínio-silício (AS) para processamento em CG's.

Inicialmente eram atendidos apenas os graus das normas JIS (SS400 e SM490), DIN (ST44.2, ST52) ASTM (A-36, A572), SAE até 1045. Normalmente aços de média e alta resistência, máximo de 600 MPa e aços alto carbono para usinagem em geral, aplicação estrutural, sem garantia de qualidade interna pelo UST.

Apesar da pressão do mercado, no início da década de 90 a CST continuava fornecendo placas de aço SA para produção de CG's devido às suas restrições de capacidade de produção de aços acalmados. Em 1992, a CST foi certificada pelas entidades navais para a produção dos graus de "A a D".

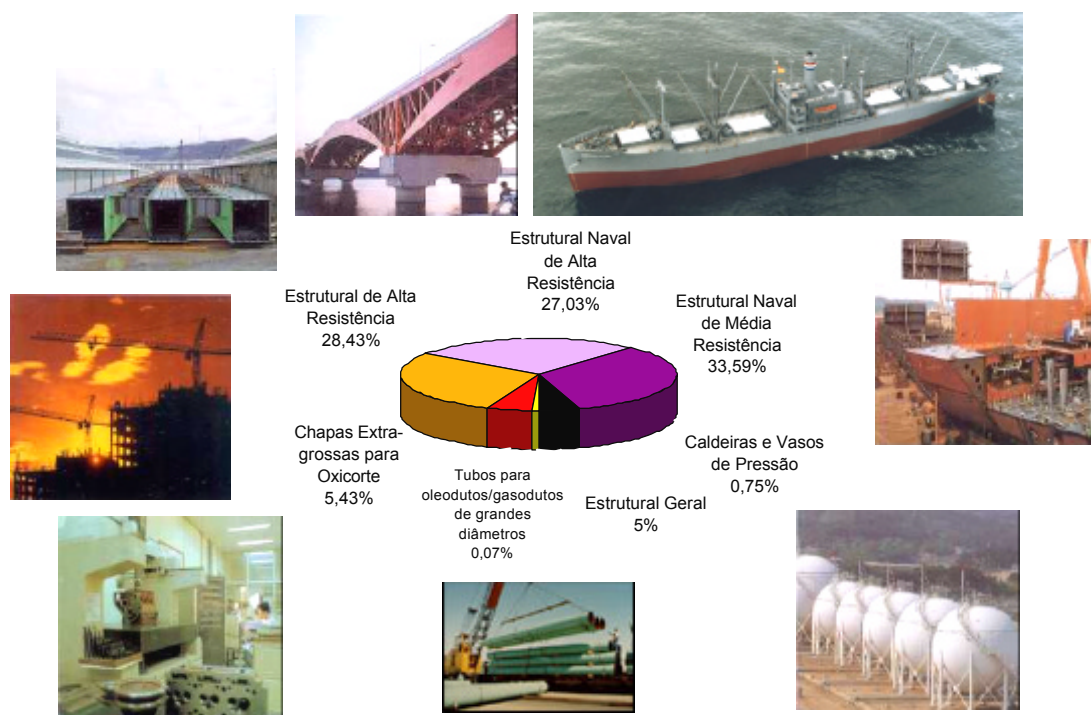
As crescentes exigências de qualidade interna avaliada pelo ultra-som (UST), exigiram esforço da CST e de seus clientes, gerando restrições de aplicação de placas nos clientes. Além disso a CST concentrava esforços para aumentar a produção de aço acalmado em seu mix.

Em meados da década de 90, tornou-se padrão na CST a produção de aços acalmados para as placas com processamento/aplicação em CG's. Houve uma elevação nos rigores exigidos para suas aplicações, alcançando-se as certificações navais até nos graus AH/DH-32 e incremento de fornecimento de aços microligados dentro dos padrões das normas citadas.

Em contrapartida, o enobrecimento do mix de aplicação dos clientes elevava ainda mais as exigências de qualidade. E novos desenvolvimentos / investimentos foram necessários. Estes desenvolvimentos serão descritos neste trabalho.

Atualmente a CST possui padrões bem estabelecidos para a produção de placas para processamento em CG's. Os recentes investimentos em sua aciaria e o contínuo desenvolvimento de seus produtos permitiram-lhe atingir níveis de qualidade compatíveis àqueles obtidos por fornecedores benchmarking mundial de placas para laminação em chapas grossas, atendendo a uma ampla gama de aplicações. Dentre as quais pode-se destacar:

### Aplicações Típicas das Chapas Grossas Lotes de 2002 e 2003 (Jan. ~ 20/Nov.) – 1.737.687 t



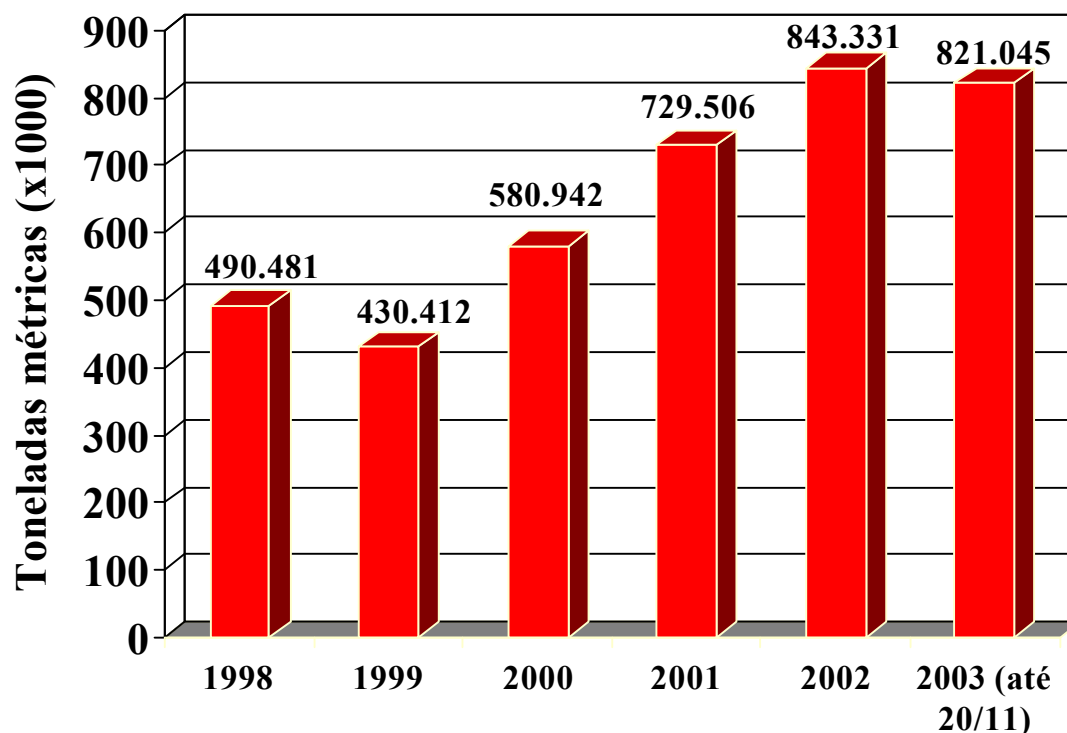
Para atendimento às aplicações acima citadas, a CST possui diversas qualidades já desenvolvidas com seus clientes, podendo ser destacadas como as mais relevantes:

Tabela 02: Principais qualidades produzidas pela CST para aplicação em CG's

<b>Tipo de aço</b>	<b>Campo de Aplicação</b>
SS400	Estrutural de média resistência (A36); Navais graus A a D; Espessura de CG's até 50mm
SS400-H	Estrutural de média resistência (A36); Composição química para CG's até 130mm
SM490-AH	Navais dos graus AH/DH 32 e 36; Espessura de CG's até 35mm; Limite de escoamento $\geq 315\text{N/mm}^2$
AH/DH-36	Navais dos graus AH/DH 36; Espessura de CG's até 30mm; Limite de escoamento $\geq 355\text{N/mm}^2$
SM490-A / SM490-AV e A572-GR60	Aços estruturais de média para alta resistência ( $490 < \text{LR} < 620\text{N/mm}^2$ ); Espessura de CG's até 50mm
SM520-CV e SM520-CV-H	Aços estruturais de alta resistência ( $520 < \text{LR} < 640\text{N/mm}^2$ ). Tem grande aplicabilidade na linha de chapas extra-grossas (oxi-corte). Espessura de CG's até 100mm
SAE's 1020 a 1055	Aços típicos para chapas extra-grossas (oxi-corte). Espessura de CG's até 130mm
A516-G70	Aços para caldeiras / vasos de pressão. Espessura de CG's até 30mm; ( $485 < \text{LR} < 620\text{N/mm}^2$ )
API X-70	Aços para produção de tubos de médio e grande diâmetro para gasodutos e oleodutos, com $\text{LE} \geq 482\text{N/mm}^2$ , $\text{LR} \geq 565\text{N/mm}^2$

O gráfico abaixo permite observar a evolução da tonelagem fornecida pela CST ao mercado de placas para aplicação em CG's.

#### Histórico de Fornecimento de Chapas Grossas



A seguir serão apresentados os principais desenvolvimentos realizados para a melhoria do nível de qualidade e melhor atendimento às exigências dos relaminadores de placas em CG's.

## **2 – DESENVOLVIMENTO**

As placas de aço para aplicação como CG's têm como principais requisitos:

- Controle restrito dos níveis de elementos residuais, como H, P, S, etc;
- Adição de elementos de liga, como Mn, Nb, V, Ti, etc, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas das CG's;
- Elevada sanidade interna, que é avaliada pelo teste de ultra-som e pelo nível de inclusões;
- Qualidade superficial das placas.

O atendimento dos requisitos supracitados vão garantir a aplicação das chapas segundo critérios definidos pelas normas e clientes específicos.

O processo de produção das placas de aço na CST começa com a definição, junto ao cliente, da aplicação final das CG's e da composição química do aço, que permitem a seleção de quais os tratamentos serão necessários para a produção das placas. Com base neste cenário, são definidos os procedimentos para a produção de cada qualidade.

### **2.1 - Procedimentos para a produção de placas para aplicação em CG's:**

#### **2.1.1 - Controle de Composição Química**

- Teor de Enxofre: Prática especial de dessulfuração e tratamento com escória sintética após o vazamento;
- Teor de Fósforo: Adoção de prática de sopro diferenciada para redução do teor de fósforo;
- Teor de Alumínio: Minimização do teor de Alumínio, de forma a evitar a ocorrência de trincas superficiais causadas por precipitação de Nitreto de Alumínio (AlN);
- Teor de Hidrogênio: Para aplicações com necessidade de baixos teores de Hidrogênio, é realizado o tratamento de degaseificação no RH;
- Teor de Titânio: Em algumas qualidades, é recomendada a adição de Titânio para a redução da ocorrência de trincas superficiais causadas por AlN e Nb (C,N) nas CG's.

#### **2.1.2 - Convertedores**

- Obtenção de alta temperatura de final de sopro, que visa prevenir o reaquecimento químico da corrida, que pode elevar o nível de oxidação da mesma;
- Uso de retentor de escória durante o vazamento da corrida, que tem como objetivo prevenir a passagem de escória para a panela, evitando refosforação;
- Tratamento com escória sintética, após o vazamento da corrida, que visa reduzir o nível de enxofre do aço.

#### **2.1.3 - Degaseificador à Vácuo (RH)**

- Aquecimento químico, com o uso da lança KTB, e homogeneização da temperatura;
- Adição de elementos de liga, para o ajuste e homogeneização da composição química;
- Desidrogenização, com obtenção de teores de hidrogênio menores que 3 ppm;
- Controle da morfologia de inclusões, através do tratamento com injeção de fios de Ca-Si.

#### **2.1.4 - Unidade de refino (IR-UT)**

- Aquecimento químico e homogeneização da temperatura;
- Adição de elementos de liga, para ajuste e homogeneização da composição química;
- Controle da morfologia de inclusões, através do tratamento com injeção de fios de Ca-Si.

#### **2.1.5 - Máquinas de Lingotamento Contínuo**

- Checagem das condições mecânicas e de alinhamentos das máquinas de lingotamento contínuo, antes do início da produção de placas para CG's, através da passagem do "Roll Gap Checker";
- Controle da temperatura do aço: para a produção de placas com aplicação em CG's, é adotada a prática de lingotamento com baixo super-aquecimento;
- Controle rigoroso da velocidade de lingotamento, em função da aplicação e do super-aquecimento do aço;
- Checagem da qualidade interna por meio da análise das amostras de Baumann longitudinais e transversais das placas;
- Ajuste do sistema de resfriamento secundário das MLC's, objetivando evitar problemas de natureza interna e superficial;

### 2.1.6 - Condicionamento de Placas

- Todas as placas são inspecionadas visualmente, no que se refere aos aspectos de dimensões, forma e qualidade superficial;
- Todos os defeitos superficiais são removidos por escaufagem local ou corte a gás;
- Corte a gás a quente: Em função da composição química do aço, a CST pode efetuar o corte a gás em temperaturas superiores à 150°C em placas com comprimento de 2500 a 5000 mm;
- É realizado o teste de ultra-som nas placas, para avaliação da qualidade interna das mesmas.

### 2.2 – Aplicações críticas para as quais são necessárias práticas especiais, incluindo tratamentos no RH & Ca-Si:

- Tubos API X-70;
- Material estrutural naval AH/DH 36 e superiores;
- Vasos de pressão para aplicação em baixas temperaturas;
- Caldeiras de grande dimensão (espessura de chapa superior a 50 mm);
- Chapas estruturais soldadas em seções "T";
- Chapas especiais para pontes (requisitos de resistência à corrosão);
- HSLA > 500 Mpa e/ou espessura de chapa superior a 50 mm.

### 2.3 – Intercâmbio com os clientes / Evolução de qualidade

A CST mantém com seus clientes um intercâmbio constante de informações sobre a performance de seus produtos. Este intercâmbio ocorre de diversas formas; reuniões técnicas, Internet, arquivos de dados sobre a aplicação/performance, etc. Este intercâmbio é, sem dúvida, um dos grandes impulsionadores da evolução da qualidade.

Segundo este aspecto, os clientes da CST produtores de CG's são importantes colaboradores para a melhoria da qualidade de seus produtos. A contínua troca de informações com estes clientes a cerca da aplicação final das CG's produzidas a partir de placas da CST, tais como norma atendida, espessura final, largura final, ensaios realizados e seus respectivos resultados permitiram à CST realizar as alterações necessárias em seus processos para garantir melhores resultados de qualidade de seus produtos.

#### 2.3.1 – Qualidade Superficial das Chapas Grossas



Fig. 01: Inspeção visual no leito de resfriamento



Fig. 02: Inspeção visual final



### 2.3.2 – Defeitos: Trincas de Borda

Mecanismo relacionado ao lingotamento contínuo:

- a) A redução de ductilidade, causada pela presença de Nitretos ( $AlN$ ,  $BN$  e  $Nb(C,N)$ ) no contorno de grão da austenita (entre  $700^{\circ}C$  e  $1000^{\circ}C$ ), associada aos esforços de tração na face superior da placa, durante o desdobraimento, leva ao aparecimento de trincas nas quinas da placa;
- b) A presença de carepa e descarbonetação está associada a dobras na laminação;
- c) Estas trincas situam-se a até 60 mm da borda da chapa.

Uma foto representativa do defeito citado acima pode ser observada na fig. 03.

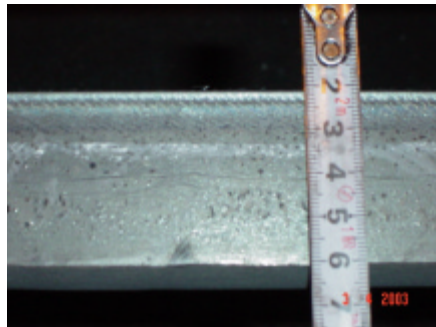


Fig. 03 – Amostra de trinca de borda

### 2.3.3 - Ações para Melhoria da Qualidade Superficial

Após a análise dos resultados de processamento no cliente e dos parâmetros de produção na CST, pôde-se tomar as seguintes medidas para redução da ocorrência de defeitos:

- a) Ajuste do volume de água do resfriamento secundário das MLC's;
- b) Redução do teor de Alumínio;
- c) Adoção da prática de escarfagem de borda das placas;
- d) Limitação do teor máximo de Nitrogênio;
- e) Controle da vida útil do revestimento de níquel das placas de cobre do molde;
- f) Adição de Titânio em teores tais que promovessem a redução da formação de  $AlN$  e  $Nb(C,N)$ .

### 2.4 – Qualidade Interna das Chapas Grossas

Os clientes enviam os resultados de todas as chapas grossas, inspecionadas por ultra-som, para as análises da CST. Além dos resultados do teste de ultra-som, os arquivos contém as dimensões das chapas (largura, espessura e comprimento), posição do chapa em relação à placa (topo, meio ou base da placa), norma de ultra-som utilizada no teste, qualidade da chapa (aplicação), tipo de defeito interno nas mesmas e a data da realização do teste de ultra-som. É importante salientar que a frequência de realização do teste depende da aplicação final da chapa. A classificação dos defeitos internos é feita visualmente, de acordo com a forma e localização do defeito no mapa de ultra-som.

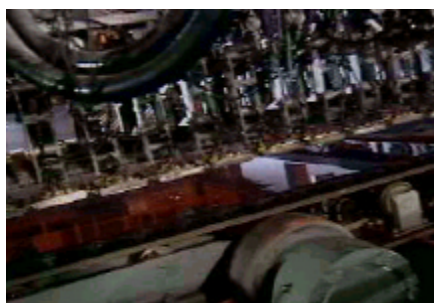


Fig. 04: Inspeção por ultra-som



Os principais defeitos internos encontrados nas chapas são trincas causadas por aprisionamento de inclusões não metálicas e trincas causadas por Hidrogênio (vide fig. 05).



Fig. 05: Amostra de trinca ocasionada por “H”

#### **2.4.1 - Ações para Melhoria da Qualidade Interna**

- a) Especificação do tratamento de desidrogenação para as qualidades com exigência de teste de ultra-som;
- b) Controle das condições mecânicas e alinhamento das máquinas de lingotamento;
- c) Direcionamento das placas, produzidas via RH, para chapas com espessuras maiores, em relação às placas produzidas via IR-UT;
- d) Empilhamento das chapas com espessura acima de 40mm;
- e) Realização de testes de ultra-som, bem como amostragem de Baumann nas placas;

### **3 – RESULTADOS OBTIDOS**

Atualmente a CST ocupa uma posição de fornecedor benchmarking, de placas de aços de alto valor agregado, para aplicações como chapas grossas. Esta posição foi alcançada com grandes investimentos em equipamentos e no desenvolvimento contínuo dos procedimentos adotados durante a produção. Outra ferramenta muito utilizada pela CST, com resultados satisfatórios, é o intercâmbio de informações com os nossos clientes. Este intercâmbio possibilita à CST a adoção de ajustes no processo, ou até mesmo a adoção de novos procedimentos, com resultados diretos na qualidade das placas.

### **4 – COMENTÁRIOS FINAIS**

A CST está sempre aprimorando suas instalações industriais e a garantindo a capacitação do seu pessoal para atender aos requisitos de seus produtos e à satisfação de seus clientes, tanto para a exportação de placas, bem como para a demanda de produtos laminados a quente no Brasil. Como resultado do desenvolvimento de seus produtos e buscando o estreitamento de relações com seus clientes, a CST está habilitada a fornecer aços de elevada qualidade, para atendimento regular de aços laminados a quente de elevado valor agregado.

### **5 – BIBLIOGRAFIA**

1. Mintz, B., et al., “The hot tensile test as a means of assessing the susceptibility of Steel to cracking during continuous casting”.
2. Cominelli, O.G, et al., “Influence of Ti and N on the hot ductility of C-Mn-Nb-Al steels”, Materials Science and technology, September 1999.
3. Elienne, A., et al., “Influence of secondary cooling on bulging and internal quality of slabs”, Metallurgical Plant and Technology, May 1987.
4. Szekeres, E.S., “A review of strand casting factors affecting transverse cracking”.

# **DEVELOPMENT OF HIGH ADDED-VALUE STEEL SLABS FOR HEAVY PLATES AT COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO (CST)<sup>(1)</sup>**

**Wilson Guilherme Barcelos de Aquino Ney <sup>(2)</sup>**

**Everaldo Antônio Caldeira <sup>(2)</sup>**

**Anderson Peter Morelato <sup>(3)</sup>**

**José Rubens Ribeiro Filho <sup>(3)</sup>**

**Carlos Alberto Perim <sup>(4)</sup>**

## **ABSTRACT**

**In the last few years, it has been observed a growing demand in the world for steel slabs for appliance on higher added-value grades, such as high resistance structural steel and API X-70 pipes. Due to this growing demand, new gain opportunities appear for steel producers all around the world, but, on the other hand, it's necessary to invest on equipments and special procedures development, from liquid steel production to plate rolling.**

**Coherent with this world tendency, Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) has been investing on new equipments, on the development of special procedures, on people qualification and on the data exchange with its costumers, aiming the continuous improvement of the quality of the slabs and the heavy plates produced. These strategies are allowing CST to guarantee an important position as a steel slab supplier, comparable to world benchmarking slab suppliers for heavy plates rolling application.**

**Key words: heavy plates, high resistance steel, API X-70**

<sup>(1)</sup> Technical Contribution to the 35th Seminar of Melting, Refining and Solidification of Metals, Salvador, BA, Brazil, May 17-19, 2004.

<sup>(2)</sup> Metallurgical Engineer, Product Development Specialist at CST.

<sup>(3)</sup> ABM Member, Metallurgical Engineer, M. Sc., Technical Assistant at CST

<sup>(3)</sup> ABM Member, Metallurgical Engineer, Technical Assistant at CST

<sup>(4)</sup> ABM Member, Metallurgical Engineer, M. Sc., Steelmaking Process Specialist at CST