

# SISTEMA DE DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE DE TIRAS DO LTQ DA CST <sup>(1)</sup>

Sergio de Oliveira Lima Júnior <sup>(2)</sup>

Júlio Cezar Bellon <sup>(3)</sup>

Fernando José Martinelli <sup>(4)</sup>

Carlos André de Almeida Pinto <sup>(5)</sup>

Wagner Schafer Dantas <sup>(6)</sup>

O sistema de detecção e classificação automática de defeitos é uma ferramenta que possibilita a inspeção “on line” de 100% da superfície das tiras laminadas a quente. No trabalho são apresentadas as características do equipamento, os procedimentos para ajuste do classificador de defeitos e a sua aplicação no controle de processo do laminador da CST.

O sistema detecta e classifica contrastes de imagens na superfície das tiras durante o processo de laminação, através de câmeras posicionadas na saída do trem acabador (face superior) e no final da mesa de resfriamento (face inferior). A classificação do defeito é feita pela comparação com as características de imagens previamente selecionadas. O sucesso do sistema automático de inspeção de superfície depende fundamentalmente de um correto processo contínuo de aprendizagem.

O sistema automático de detecção e classificação de defeitos vem sendo utilizado como uma ferramenta importante no controle de qualidade de processo do LTQ da CST, principalmente na detecção e classificação de defeitos que precisam de uma tomada de decisão rápida tais como, marca de cilindros de trabalho, arranhões, carepa por falha de descarepação, dentre outros.

O índice de acerto atual de detecção e classificação de defeitos está em 88,5% e tende a melhorar com o processo contínuo de aprendizagem.

Palavras-chave: qualidade de superfície, inspeção de tiras, bobinas a quente.

<sup>(1)</sup> *Contribuição Técnica ao 41º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Joinville, SC, 26 a 28 de Outubro de 2004*

<sup>(2)</sup> *Membro da ABM, Engenheiro Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

<sup>(3)</sup> *Membro da ABM, Engenheiro Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

<sup>(4)</sup> *Engenheiro Especialista em Automação de Processos da CST, Vitória, ES*

<sup>(5)</sup> *Membro da ABM, Engenheiro Especialista em Controle Integrado de Produto da CST, Vitória, ES*

<sup>(6)</sup> *Operador de Bobinadeira e Inspeção Primária do LTQ da CST, Vitória, ES*

## **1 INTRODUÇÃO**

Durante o desenvolvimento da curva de aprendizagem do Laminador de Tiras a Quente da CST, concluída em Março de 2004, o sistema de detecção e classificação automática de defeitos de superfície das tiras laminadas a quente teve um comissionamento específico junto com a evolução do mix de material (dimensões e qualidades).

Este sistema tem como função capturar a imagem do defeito, classificá-la (por comparação com a base de dados) e exibi-la na tela de monitoramento.

Muitos ajustes importantes foram feitos durante o comissionamento através de um processo de aprendizagem contínuo em novas imagens de defeitos capturadas. Entretanto, alguns ajustes ainda são necessários principalmente naqueles defeitos de baixo contraste e dimensões reduzidas.

O uso correto desta ferramenta é fundamental para a avaliação da qualidade de superfície em 100% do comprimento da tira e em 100% da produção, em complemento às informações obtidas sobre a qualidade superficial na inspeção visual por amostragem na saída das bobinadeiras.

O objetivo do presente trabalho é apresentar as características do equipamento, a sua aplicação no controle de processo do laminador da CST, e os procedimentos para ajuste do classificador de defeitos.

## **2 CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO**

### ***2.1 Características e Funcionamento***

O sistema adotado pela CST foi adquirido da empresa Parsytec dentro do contrato de fornecimento do seu LTQ. Durante o processo de implantação e ajuste do equipamento, o software foi atualizado pela própria Parsytec da versão 3.1 para a versão 4.2 em função desta nova versão ter funcionalidades que permitiriam um comissionamento mais simplificado e eficiente.

O hardware do sistema é composto por um conjunto de luzes e câmeras posicionadas a fim de capturar as imagens das duas faces da tira e ao longo de toda a largura da mesma. O hardware em uso na CST possui um conjunto de 6 câmeras para captura de imagens nas duas faces das tiras.

Cada uma destas câmeras captura periodicamente imagens da tira em uma razão (número de imagens por segundo) constante. As câmeras superiores trabalham com 120 imagens por segundo e ficam localizadas na saída do trem acabador (Figura 1). Em função da distância entre rolos da mesa, as câmeras inferiores, localizadas após o resfriamento laminar e antes da guarda lateral de entrada da bobinadeira 1, obtêm

imagens com área inferior a das câmeras superiores. Para compensar tal situação estas câmeras capturam imagens numa razão de 240 por segundo.

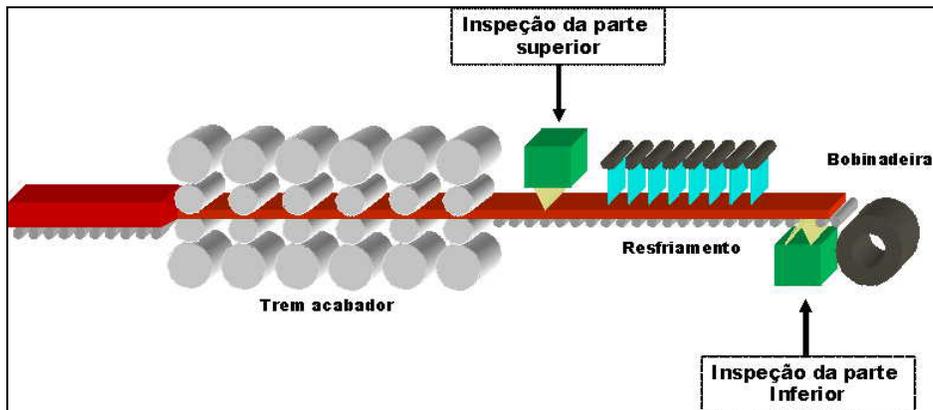


Figura 1 - Localização do sistema na Linha de Laminação a Quente da CST

As imagens capturadas em cada câmera são enviadas a computadores que realizam um processamento inicial de identificação de variações de nível de cinza entre os pixels da imagem. Se for detectada tal variação, o sistema considera que esta imagem apresenta um defeito que precisará ser classificado em uma fase posterior do processamento. Caso contrário a mesma é descartada.

A fim de identificar se uma imagem tem realmente defeito, existem alguns parâmetros que precisam ser ajustados. Um deles é a “sensibilidade”. Este parâmetro indica qual a variação de nível de cinza a partir da qual será considerada a existência de um defeito. Seu ajuste representa um compromisso entre a quantidade e os tipos de defeitos que se quer capturar. Se a sensibilidade é muito alta, mesmo defeitos com baixo contraste podem ser capturados, contudo muitas variações de tonalidade da tira podem vir a ser selecionadas inadequadamente como defeitos, podendo causar dificuldades de avaliação. Por outro lado, uma sensibilidade muito baixa pode implicar na não captura de alguns tipos de defeitos importantes.

As imagens consideradas defeito passam por um processamento adicional que compreende uma seqüência de operações (Figura 2). Inicialmente a região onde o defeito foi detectado é delimitada dentro da imagem capturada e a partir desta área são extraídas algumas características. Exemplos de características podem ser: sua área, diferença de níveis de cinza, comprimento, largura, entre 800 outras possíveis. Estas características são então analisadas e com base nos valores de algumas delas, o software decide qual a classificação mais apropriada para tal defeito.

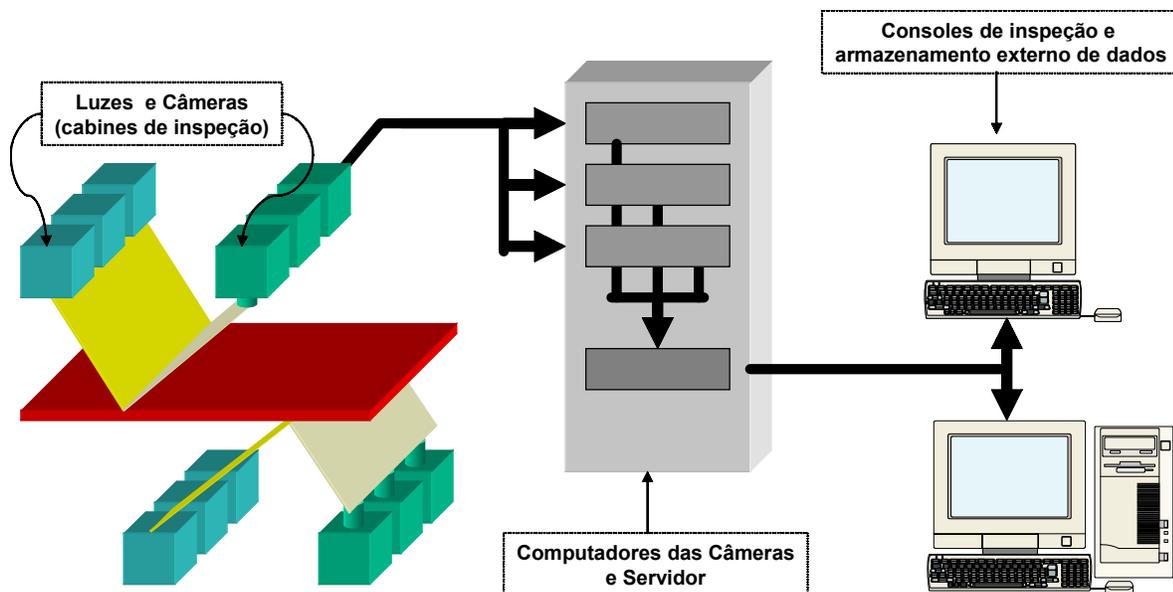


Figura 2 – Fluxo do processo de captura, identificação e exibição de imagens

A determinação de qual característica e quais valores representam cada tipo de defeito são realizadas também por um componente de software do sistema e são baseadas em algumas técnicas de inteligência artificial.

A adequada identificação do tipo de defeito pelo sistema, depende fundamentalmente do processo de aprendizagem que é conduzido pelo especialista de laminação. De uma forma simplista, este processo consiste em fornecer ao sistema imagens de defeitos capturados e corretamente classificadas pelo referido especialista. O software analisa quais as características são comuns num mesmo tipo de defeito e adotando a hipótese de generalização, considera que as todas as imagens com similaridades representam o mesmo tipo de defeito.

## 2.2 *Comissionamento e Ajuste do Classificador*

O sistema foi comissionado em paralelo a linha do LTQ da CST e compreendeu basicamente as seguintes atividades:

- Preparação das instalações civis para abrigar os equipamentos;
- Instalação do hardware;
- Comissionamento do hardware;
- Atualização do software;
- Ajuste e calibração dos equipamentos;
- Operação inicial com classificador pré-ajustado;
- Treinamento operacional;
- Solução de problemas com ambiente (excesso de água);
- Coleta de novas imagens;
- Geração de novos classificadores.

Uma grande dificuldade na instalação do Parsytec na CST e que é comum a muitos laminadores, foi o acúmulo de água sobre a tira na região de captura das imagens da face superior (saída do trem acabador), ver figura 3. Várias alternativas foram testadas para a eliminação desta água, mas somente após a instalação de 4 ventiladores sobre esta região e a substituição dos “spray” laterais de água da mesa por um sistema com ar comprimido, foi possível solucionar o problema.

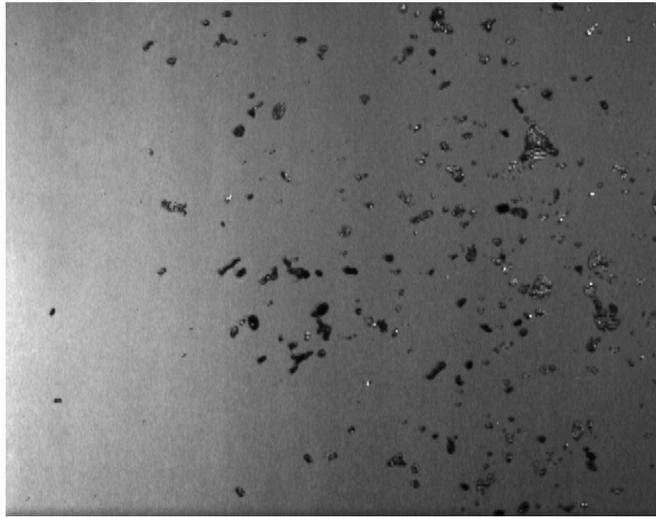


Figura 3 – Ocorrência de Água na Face Superior da Tira

A presença de água fazia com que o sistema capturasse imagens em excesso. Estas imagens em excesso não eram processadas, devido a sua grande quantidade, fazendo com que muitas delas fossem perdidas. A presença de água nas imagens que eram capturadas também fazia com que o sistema focalizasse atenção inadequadamente sobre a água, impedindo a correta classificação de alguns defeitos reais presentes. A água também impedia a geração de novos classificadores em função das imagens não estarem refletindo de fato apenas os defeitos reais das tiras.

O sistema começou a funcionar com alguns defeitos pré-classificados pela Parsytec com base em imagens de outros laminadores e gradativamente foram incorporadas novas imagens de referência obtidas no laminador da CST. Após a eliminação do problema da água, iniciou-se uma fase de melhoria dos níveis de acerto de classificação.

Durante o comissionamento, vários classificadores foram criados até que os níveis de aceite contratuais fossem atingidos. Ainda hoje tal processo de geração de novos classificadores se faz necessário para refinamento do desempenho do sistema, capturando e arquivando novos defeitos ou novas características de defeitos já conhecidos.

### **2.3 Aplicação no Controle de Processo do Laminador**

O uso deste sistema no controle de processo do LTQ, visando garantir a qualidade de superfície do laminado a quente, se faz através de duas telas de operação – uma no púlpito do trem acabador e outra no púlpito das bobinadeiras.

O operador de trem acabador apenas monitora o mapa de defeitos mostrado tira a tira, enquanto o operador de bobinadeira e inspeção primária tem a responsabilidade de acompanhar “on line” o processamento das tiras, avaliar os defeitos apresentados pelo sistema, julgá-los relevantes ou não e dar feedback ao seu cliente principal: o operador do trem acabador. Em caso de defeito relevante toma-se a decisão de parar a produção ou continuar laminando. Se houver dúvida em relação a intensidade (gravidade) do defeito, o operador solicita a suspensão do desenformamento da próxima placa e desvia a bobina em questão para a inspeção primária (“off line”) a fim de avaliar visualmente o defeito.

É fundamental ressaltar que este equipamento é considerado de linha, e, por isso, em caso de problema, o laminador pára, a manutenção é chamada, e a produção somente é reiniciada quando for restabelecido seu funcionamento normal.

O sistema de detecção e classificação automática de defeitos de superfície de tiras laminadas a quente faz parte do dia a dia da operação do laminador e apresenta as seguintes características:

- Inspeção de 100% das tiras, nas duas faces, em tempo real e ao longo de toda a produção (pelo processo de inspeção primária – “off line” – a avaliação é feita em ambas as faces, contudo apenas nos últimos metros da tira);
- Detecção e confirmação mais rápida da ocorrência de um defeito, o que possibilita atuar em contramedidas antes mesmo de ter o resultado da inspeção primária;
- Observação de apenas um defeito de cada vez ao longo da tira, pela seleção deste defeito na tela de operação do sistema;
- Permite a validação da confiabilidade do sistema a qualquer momento, se comparado um defeito e sua localização na tira com a inspeção visual (“off line”).
- Os defeitos com baixo contraste e dimensões reduzidas tais como carepa de temperatura fina do tipo “salt & pepper” e algumas marcas de cilindros são de difícil detecção necessitando de ajustes na sensibilidade do sistema.
- O sistema trabalha com um universo bidimensional, e por isso apenas avalia o comprimento e largura do defeito identificado, sendo difícil estimar automaticamente se o mesmo (ex.: marca de cilindro) apresenta-se em alto ou baixo relevo.
- Devido a localização das câmeras, os defeitos do tipo marca de rolo (gerados na área das bobinadeiras - rolos puxadores e abraçadores) não são capturados.

Através da definição de um número máximo de ocorrências de um defeito específico (carepa, marcas de cilindro ou defeitos periódicos), é possível tomar algumas ações do tipo:

- Preventivas: ajuste de temperatura de entrada no trem acabador, inspeção dos cilindros de trabalho do trem acabador;
- Corretivas: troca de cilindro de trabalho de uma ou mais cadeiras por ocorrência de “banding”, troca ou ajuste de posição de raspadores/guias de entrada.

O critério estabelecido para o operador avaliar a qualidade superficial utilizando-se dos dados fornecidos pelo sistema define a seguinte ordem de prioridade:

- 1º. Número de defeitos por classe de defeito;
- 2º. Distribuição dos defeitos: face A e B, concentração na ponta ou na cauda da tira e alinhamento de um defeito ao longo do comprimento da tira;
- 3º. Intensidade aparente.

A figura 4 abaixo mostra a tela principal do sistema de inspeção, na qual pode-se ver a indicação dos tipos de defeito, quantidades e posicionamento na tira, Informações que são utilizadas para avaliação “on line” da qualidade de superfície da tira laminada.

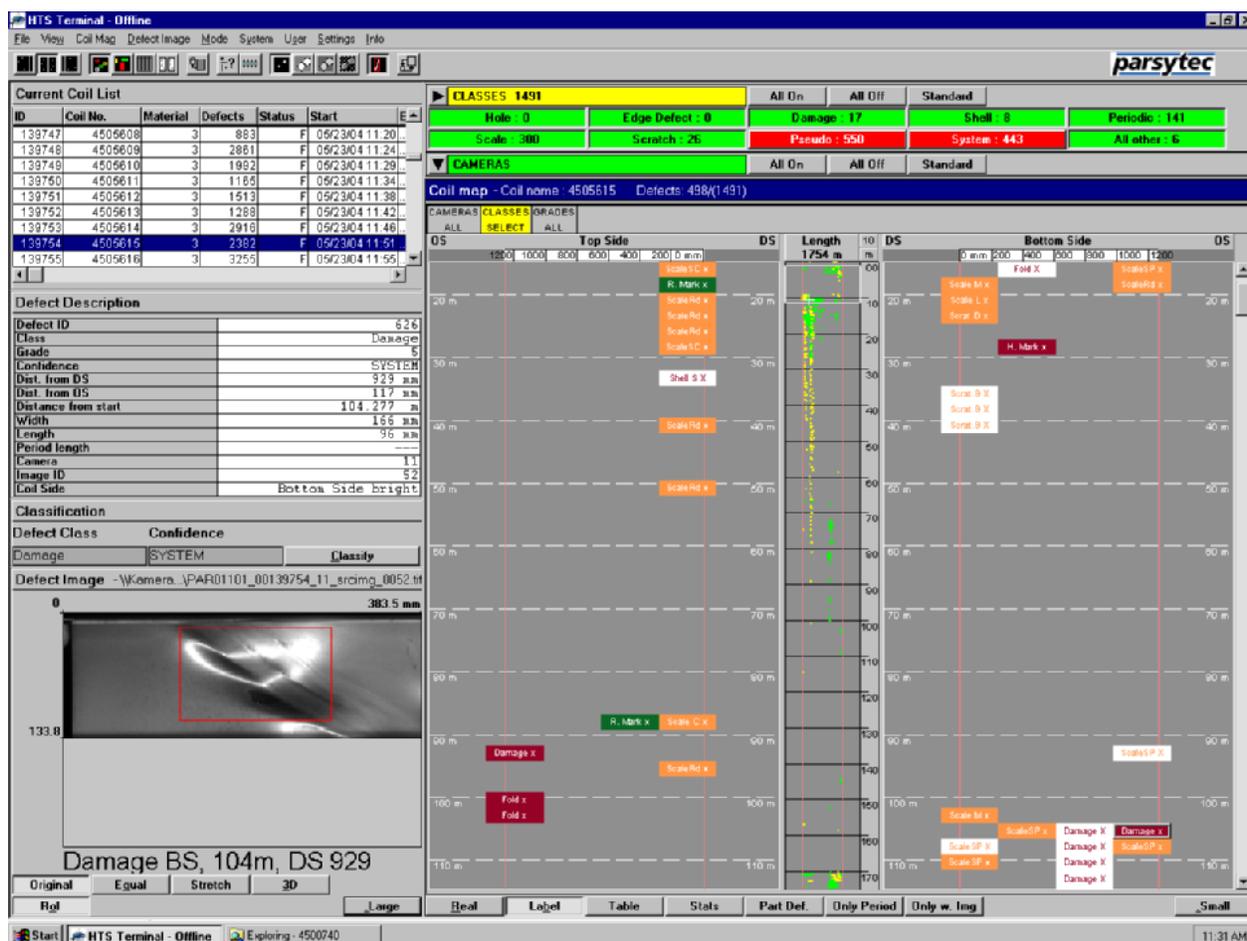


Figura 4 – Tela Principal do Monitor do Parsytec

## 2.4 Desempenho do Sistema (Classificador)

Abaixo é mostrada a tabela de confiabilidade que mede o índice de acerto dos classificadores de defeitos.

Tabela I – Tabela de Confiabilidade do Classificador

classificador \ referência	PS	ES	MC	CA	AR
Pseudo defeito - PS	1825	2	12	119	12
Esfoliação - ES	19	30		5	3
Marca de cilindros - MC	14		107		
Carepa - CA	172	3		1092	10
Arranhão - AR	42				142
Sum	2072	35	119	1216	167
Acerto por classe	88,1	85,7	89,9	89,8	85,0
<b>Acerto médio</b>	88,5				

A tabela é obtida submetendo-se ao classificador um conjunto de imagens de defeitos conhecidos e corretamente classificados, chamadas de imagens de referência. É possível verificar que de 2072 imagens de pseudo defeitos o sistema classificou corretamente 1825 dando um índice de acerto de 88,1 %. Por outro lado, 172 imagens de pseudo defeitos foram classificados incorretamente como carepa. Esta tabela reflete os resultados de um classificador construído em novembro 2003 e é uma ferramenta muito útil para identificar quais os defeitos que o sistema não está classificando corretamente e que, portanto, necessitam de uma implementação no processo de aprendizagem. O índice de acerto médio deste classificador está em 88,5%. A dificuldade atual está na captura e identificação de defeitos com baixo contraste e dimensões reduzidas, que, por sua vez, têm pouco impacto sobre a aplicação final dos produtos. Exemplos de imagens corretamente selecionadas e classificadas são mostrados nas figuras 5 a 8 a seguir.

## 3 COMENTÁRIOS FINAIS

A utilização do sistema automático de detecção de defeitos já faz parte da rotina diária de produção do LTQ da CST, sendo uma ferramenta importante para o controle de qualidade de processo e de produtos laminados.

Apesar dos bons resultados obtidos nos últimos classificadores construídos, existe uma necessidade contínua de melhoria do nível de acerto principalmente nos defeitos com baixo contraste de imagem e de reduzidas dimensões.

A CST está desenvolvendo um projeto de modo a utilizar o sistema como ferramenta para julgamento da qualidade das bobinas, principalmente aquelas com rota direta LTQ x Cliente.

Como desafio futuro, para 2005, pode-se destacar:

- Classificação dos defeitos detectados por intensidade, de acordo com os critérios de inspeção utilizados na CST;
- Julgamento final automático da qualidade superficial com base nos resultados do Parsytec.



Figura 5 – Marca de cilindro – face superior – 436 m da ponta da tira – 437 mm do lado de acionamento – Defeito periódico que requer ação imediata.



Figura 6 – Repuxado na cauda da tira e no lado de acionamento – Pouco impacto sobre o rendimento do produto mas com desdobramento sério pois pode marcar os cilindros.

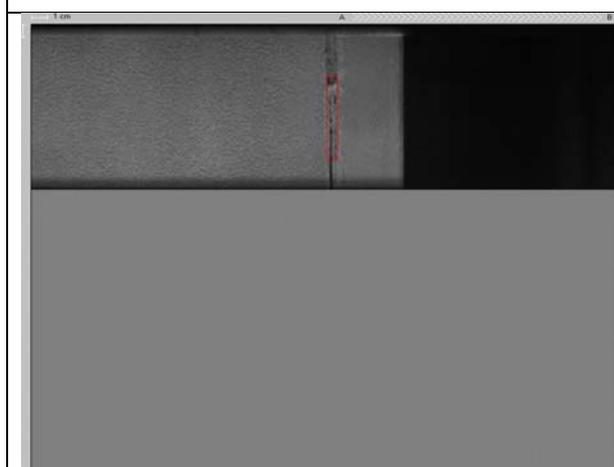


Figura 7 – Esfoliação próximo a borda da tira – defeito usualmente com origem na aciaria – inclusão de alumina, pó fluxante e outros.



Figura 8 – Carepa em faixa – defeito causado pelo bandeamento de cilindros de trabalho – dependendo da gravidade resulta na necessidade de troca do cilindros.

# CST'S HSM AUTOMATIC SURFACE INSPECTION SYSTEM <sup>(1)</sup>

Sergio de Oliveira Lima Júnior <sup>(2)</sup>  
Júlio Cezar Bellon <sup>(3)</sup>  
Fernando José Martinelli <sup>(4)</sup>  
Carlos André de Almeida Pinto <sup>(5)</sup>  
Wagner Schafer Dantas <sup>(6)</sup>

The automatic strip defect detection and classification has the purpose of allowing on line inspection in 100% of hot strips surface. In this paper are going to be presented equipment characteristics, the use of system in process control and the defects classify procedures.

The successful of this system depend on a continuous learning process.

This automatic system has being used by CST as an important tool in process quality control, mainly in a periodic defects that must an immediate action to correct the problem, e.g. work roll marks, scratches, scale, etc.

The level of reliability is now around 88,5% and trends to increase as far as a continuous learning process takes place.

Key words: strip quality surface, strip inspection, hot coils.

<sup>(1)</sup> *Technical Contribution to 41<sup>st</sup> Rolling Seminar Processes, Rolled and Coated Products, October 26<sup>th</sup> to 28<sup>th</sup>, 2004 - Joinville - SC*

<sup>(2)</sup> *ABM's Member, CST's HSM Specialist Engineer, Vitória, ES*

<sup>(3)</sup> *ABM's Member, CST's HSM Specialist Engineer, Vitória, ES*

<sup>(4)</sup> *CST's Process Automation Specialist Engineer, Vitória, ES*

<sup>(5)</sup> *ABM's Member, CST's Product Integrated Control Specialist Engineer, Vitória, ES*

<sup>(6)</sup> *CST's HSM Downcoiler Operator, Vitória, ES*