

INFILTRAÇÃO DE AÇO NA INTERFACE ENTRE PLACAS DE COBRE NA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO #2 DA CST – ARCELOR BRASIL ¹

Carlos Alberto Perim ²
Jose Carlos de Oliveira Passos ³
Antonio Luiz Gomes Reis Júnior ⁴
Alexandre de Aparecida Moraes ⁵

Resumo

Em 2005, a CST teve a ocorrência de 4 rompimentos de pele sua máquina de lingotamento contínuo número 2, em um período inferior a 5 meses, todos decorrentes de infiltração de aço entre placas de cobre (larga e estreita), em modo de lingotamento duplo (twin). Através do uso de ferramentas como Análise da Árvore de Falha (FTA) e Análise dos Modos e Efeitos da Falha (FMEA), foram identificados os componentes principais do sistema de moldes da Máquina de Lingotamento Contínuo número 2 que poderiam estar relacionados ao surgimento de abertura entre as placas de cobre nos moldes. A falha destes componentes pode conduzir à ocorrência de infiltração de aço na quina entre estas placas. Utilizando os critérios de priorização do FMEA, foi estabelecido um Plano de Ação, cujas atividades foram monitoradas continuamente no período do projeto. O número de ocorrências de rompimentos de pele causados por infiltração de aço entre placas de molde, em modo de lingotamento twin foi reduzido de 4, em 2005, para zero em 2006. Cerca de 40 ações foram realizadas com êxito, envolvendo as áreas mecânica, elétrica e operacional da CST Arcelor Brasil. Novas configurações de canaletas de refrigeração nas placas do molde foram desenvolvidas, visando reduzir a temperatura superficial e a sua conseqüente distorção térmica. O novo molde nesta nova configuração foi colocado em teste a partir do primeiro semestre de 2007.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Placas de cobre; Lingotamento duplo (twin).

STEEL INFILTRATION IN THE INTERFACE BETWEEN COPPER PLATES IN THE CONTINUOUS CASTING MACHINE #2 OF CST - ARCELOR BRAZIL

Abstract

In 2005, CST Arcelor Brasil faced the occurrence of 4 break outs in its continuous casting machine #2, in a period of less than 5 months. It was observed that there were steel infiltration between copper plates (wide and narrow), during twin casting mode. By using tools like Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), it was identified the main components in the mold system that could be related to the opening of a gap between the narrow and wide face mold plates. The failure of these components can lead to the occurrence of steel infiltration in the corner between these plates. By using the ranking criteria of the FMEA analysis, an Action Plan was established, whose activities had been monitored continuously in the period of the project. The number of occurrences of break outs caused by steel infiltration between mold plates, during twin casting mode was reduced from four, in 2005, to zero in 2006. Around 40 countermeasures in the operational, electrical and mechanical maintenance areas had been implemented with success. New mold plate slits were designed to improve the cooling in the plates, aiming to reduce the surface temperature and its consequent thermal distortion. The new mold with this new configuration will be put in operation during the first semester of 2007.

Key words: Continuous casting; Mold plates; Twin casting.

¹ Contribuição técnica a ser apresentada XXXVIII Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais – Internacional, Belo Horizonte, 20 a 23 de Maio de 2007.

² Membro da ABM, Especialista do Controle Técnico da Aciaria.

³ Supervisor de Inspeção e Programação das Oficinas de Manutenção Mecânica das MLC's da CST.

⁴ Especialista em Manutenção Elétrica/Eletrônica.

⁵ Membro da ABM, Especialista em Lingotamento Contínuo.

INTRODUÇÃO

Considerando os dados das Máquinas de Lingotamento Contínuo (MLC's) da CST a partir de 2000, havia, até dezembro de 2004, 47 rompimentos de pele registrados, sendo apenas um evento com evidência de infiltração de aço, no dia 15/05/2002.

Entre janeiro e maio de 2005 ocorreram 4 rompimentos, sendo 3 na MLC2 em modo de lingotamento duplo⁽¹⁾ (twin), com suspeita de infiltração. A ocorrência de uma infiltração foi observada no período, sem a ocorrência efetiva do rompimento, como mostrado na Figura 1, e pôde ser registrada.



Figura 1 – Infiltração de aço entre as placas de cobre do molde da MLC#2.

A Tabela 1 mostra a evolução da quantidade de ocorrências, com informação parcial em 2005 (até maio):

Tabela 1 – Evolução da Ocorrência de rompimentos nas MLC's da CST

| Máquina | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | Total |
|--------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| MLC1 | 0 | 4 | 8 | 7 | 4 | 0 | 22 |
| MLC2 | 10 | 5 | 3 | 1 | 2 | 4 | 25 |
| Total | 10 | 9 | 11 | 8 | 6 | 4 | 47 |

As perdas de produção com esses eventos, anualizadas, somavam um prejuízo potencial de cerca de US\$7 milhões.

Neste trabalho, será abordada a metodologia de análise que conduziu à redução da ocorrência desta falha de processo.

METODOLOGIA DE ANÁLISE

O trabalho utilizou técnicas de Confiabilidade e Engenharia de Sistemas, baseado nos métodos e ferramentas divulgadas no programa Seis Sigma Black Belts de 2002⁽²⁾.

A partir de um evento topo indesejável (infiltração na quina do molde), procurou-se identificar as combinações de causas possíveis para sua origem. Nesta fase, definiu-se que as falhas de processo não seriam objetos da análise, restringindo-se unicamente

aos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos que pudessem afetar o desempenho do sistema ⁽³⁾.

Como os sistemas envolvidos com o processo da falha são bastante complexos, foi necessário delimitar claramente quais conjuntos e componentes seriam analisados. Para isso foram desenhadas Árvore Funcionais dos vários sistemas onde aparecem os componentes de interesse (relacionados ao molde do lingotamento contínuo). Cada Sistema, por sua vez, foi dividido nos Sub-Sistemas que o compõem e estes nos seus componentes.

Os componentes identificados nas Árvore Funcionais foram transcritos para as tabelas de análise e, então, utilizou-se então o FMEA (Análise dos Modos e Efeitos das Falhas). Com a participação de equipes da operação, manutenção (elétrica e mecânica) e de controle de processo, foram levantados os modos de falha, seus efeitos, causas e controles atuais de todos os subsistemas e componentes identificados como potenciais causadores do evento topo.

Definiu-se então o critério de priorização, através da atribuição de notas aos índices de Ocorrência, Gravidade e Detecção apresentado para os componentes. Definiram-se os itens cuja falha apresentava maior risco, através de um critério de corte para as notas apuradas.

Uma vez estabelecidas as contramedidas para as causas prioritárias, foram planejadas ações para implementar as medidas, como será mostrado a seguir.

Utilização da Árvore de Falha

Para que ocorra a infiltração de um corpo estranho na quina, diversos eventos devem ocorrer entre a placa larga e a estreita. A Figura 2, a seguir se mostra uma Árvore de Falha (FTA, ou Fault Tree Analysis) que demonstra o processo de infiltração na quina:

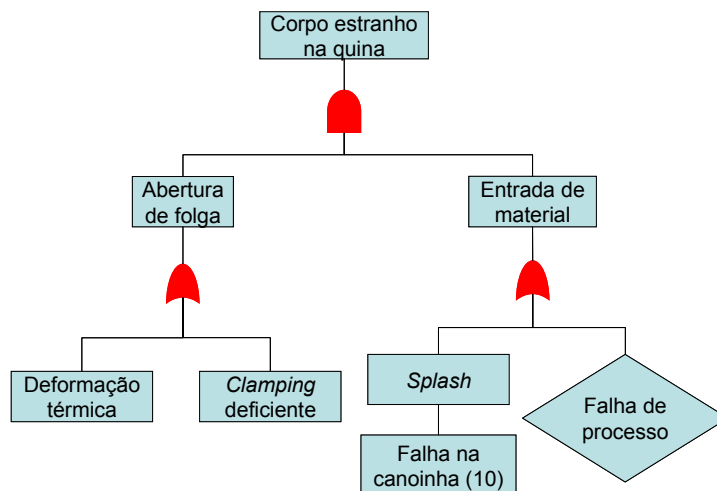


Figura 2 – Árvore de Falha com evento “Corpo Estranho na Quina” no topo.

Elaboração de Árvores Funcionais

Uma vez definido que o sistema molde seria o de interesse no estudo, foi desenhada sua Árvore Funcional, mostrada em parte na Figura 3, onde se observa seus diversos Sistemas.

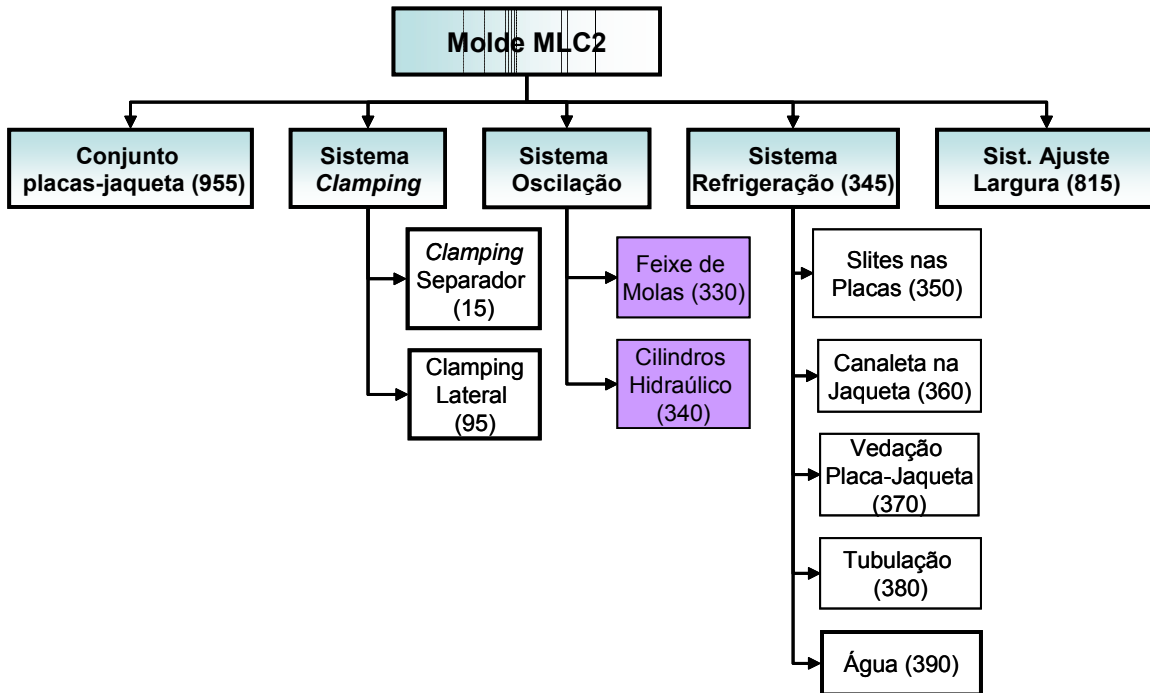


Figura 3 – Árvore Funcional do Sistema de Molde da MLC#2.

Cada Sistema, por sua vez, foi dividido nos Sub-Sistemas que o compõem e estes nos seus Componentes, conforme exemplo da Figura 4, onde é mostrado o detalhamento do Sub-Sistema do clamping do separador.

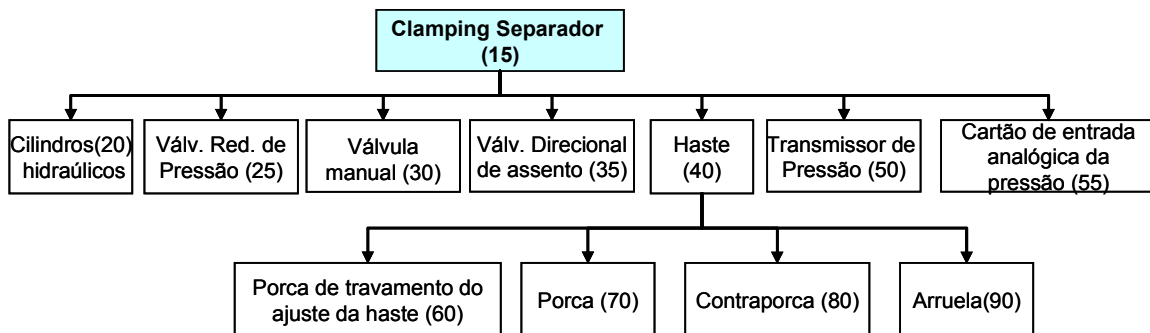


Figura 4 – Árvore Funcional do sistema de clamping do separador do twin.

Elaboração do FMEA

Os componentes identificados nas Árvore Funcionais foram transcritos para as tabelas de análise, mostrada resumidamente na Figura 5, cuja estrutura se descreve a seguir. A coluna mais à esquerda identifica o componente analisado. A segunda descreve a função do componente, que pode ser múltipla, ou seja, ele pode ter mais de uma função. Todas as funções foram estudadas.

O grupo de colunas sob o título “Falhas Possíveis” inclui a cadeia de causas e efeitos, é o foco principal da análise. Define-se como Modo de Falha a maneira pela qual o componente deixa de atender a função a que se destina. Pode haver várias maneiras de um mesmo componente falhar, procurou-se levantar todos os modos de falha possíveis.

Cada modo de falha apresenta conseqüências específicas, que podem estender-se a outros componentes, ao Sub-Sistema do qual o componente faz parte ou a outros Sistemas e Sub-Sistemas. Procurou-se estabelecer todos os possíveis efeitos de cada modo de falha, principalmente avaliar se a falha afeta o evento topo ou não. Nos casos em que os efeitos não estão relacionados com a abertura (gap) ou com a infiltração, foi feita uma observação específica e não se levou adiante a análise.

A coluna seguinte traz as causas do modo de falha estudado. Novamente, um mesmo modo de falha pode ter várias causas independentes, que se procurou identificar. Nos casos em que há alguma interdependência entre as causas, foi feita uma observação específica, ou uma análise com FTA restrita aos componentes envolvidos. Ao lado de cada causa citada estão relacionados os controles atuais disponíveis para evitar seu aparecimento ou, pelo menos sinalizar a sua presença.

| COMPONENTE | FUNÇÃO | Falhas Possíveis | | | | Índices | | | |
|----------------|---|--|---|--|--|---------|----|----|-----|
| | | MODO | CONSEQÜÊNCIA | CAUSAS | CONTROLES ATUAIS | O | G | D | R |
| Placa Estreita | Manter o afastamento especificado das placas largas | diferença de largura entre as placas estreitas | _gap em toda a altura do contacto com a placa estreita; _Infiltração de aço; _Rompimento de pele; | desgaste da lateral | medição de gap após montagem; medição pré-montagem, conforme P.O. 0440-CONT IIM 0179 (INSPEÇÃO DE PLACA DE COBRE ESTREITA) | 3 | 9 | 2 | 54 |
| | | | | Desgaste prematuro devido a enchimento com material diferente do original | especificação de material e procedimento de solda estão no PO-MAN-OFCA-00-0001 | 5 | 9 | 7 | 315 |
| | | | | falha de usinagem | medição de gap após montagem; medição antes da montagem, conforme P.O. 0440-CONT IIM 0179 (INSPEÇÃO DE PLACA DE COBRE ESTREITA) | 2 | 9 | 3 | 54 |
| | | diferença de largura dentro da placa estreita | _abertura de gap pontual entre face larga e estreita; _Infiltração de aço; _Rompimento de pele; | deformação térmica em processo por diferença de temperatura encima e embaixo | Não há controle | 9 | 10 | 10 | 900 |
| | | | | Espessura excessiva na placa de cobre | medição nos extremos ao retirar de operação e após usinagem (Não há controle) | 4 | 10 | 3 | 120 |
| | | | | falha de usinagem | medição de gap após montagem; medição antes da montagem, conforme P.O. 0440-CONT IIM 0179 (INSPEÇÃO DE PLACA DE COBRE ESTREITA) | 2 | 10 | 5 | 100 |

Figura 5 – Trecho do FMEA com a componente placa estreita.

No grupo de Índices há quatro colunas. A primeira é o índice de Ocorrência que mede a probabilidade de ocorrer o modo de falha em função da causa analisada, quanto maior o índice, mais freqüente é a ocorrência. A seguir aparece o índice de Gravidade, que está associado à seriedade das conseqüências, em especial se provoca ou não o

evento topo, quanto maior a associação maior o índice. O terceiro índice mede a dificuldade de Detectar a presença da causa analisada, quanto mais difícil de detectar, maior será o índice.

A coluna seguinte apresenta o índice de Risco obtido pelo produto dos três índices anteriores. Este número é usado para a priorização das ações a serem desenvolvidas para aumentar a confiabilidade do sistema, que estão resumidas na coluna correspondente.

Elaboração do Plano de Ações

Os riscos obtidos foram avaliados para os componentes e subsistemas elétricos, mecânico e operacional. Em função de o peso atribuído ter sido considerado distinto entre as áreas, optou-se por utilizar critérios de priorização independentes. No caso operacional e mecânico, o corte para priorizar ações foi feito para riscos ≥ 250 . No caso da manutenção elétrico-eletrônica, o corte foi para riscos ≥ 400 .

As ações para atuar nos componentes que apresentavam maior risco foram estabelecidas em reuniões com as equipes responsáveis pelas atividades. Foi definido um cronograma para acompanhamento da implantação das ações pré-determinadas, bem como a data de início e fim de cada atividade.

Um exemplo do de parte do cronograma é mostrado na Figura 6. Além da identificação do status da ação em relação ao planejado, foram registradas as respostas às ações propostas durante o intervalo entre as reuniões agendadas. Se algum item eventualmente foi cancelado, também se registrou o motivo do cancelamento.

| | | |
|--|--|---|
| 5. Calcular deformação térmica do molde durante o enchimento | | |
| 5.1 Contratar AT em modelagem por Elementos Finitos | | Já assinado o contrato com a Softec. |
| 5.2 Elaboração do modelo e execução das análises | | Sendo realizadas reuniões mensais com a Softec. |
| 5.3 Planejar a implementação das recomendações do estudo. | | |
| 6. Utilizar molde com espessura mais fina | | |
| 6.1 - Limitar a espessura máxima em 52mm | | Continua limitada a espessura de utilização das placas em twin. |
| 6.2 - Avaliar possibilidade de medição de gap em serviço (analisador de imagem, infra-vermelho) | | A Imatic concluiu que é inviável a medição do tamanho por análise de imagem. O nível de emissão de fumos é muito grande durante a troca de distribuidor, não permitindo visualizar a formação de gap durante o enchimento (quando ocorre o fenômeno). |
| 6.3 - Formalizar a decisão provisória de uso de placa com espessura reduzida no lingotamento twin. | | |

Figura 6 – Exemplo de acompanhamento do Plano de Ações

RESULTADOS OBTIDOS

Ao todo foram definidas 16 ações a serem conduzidas no Plano, com 42 desdobramentos de ações ao todo. Destas, 13 ações principais e seus desdobramentos foram concluídas ao longo de 2005 e 2006. Restaram apenas as ações relacionadas com a utilização de novo projeto de molde e revestimento, já desenvolvido, e que será realizado ao longo de 2007.

Concluiu-se que o principal motivo de risco para a formação de abertura entre as placas de cobre estava relacionado à deformação térmica durante o enchimento. A Figura 7 ilustra o fenômeno de abertura entre placas após troca de distribuidor.

MOLDE MLC#2

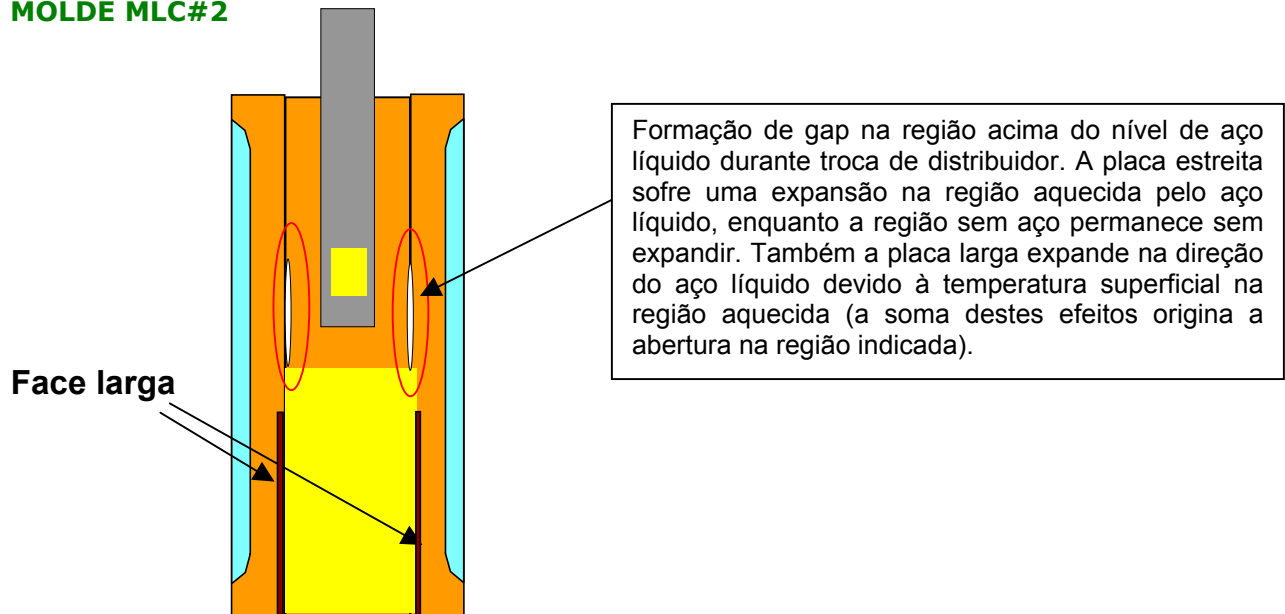


Figura 7 – Representação esquemática da abertura de folga entre as placas (gap).

Desta forma, uma das principais ações tomadas foi de reduzir a espessura das placas utilizadas durante o lingotamento em modo twin, visando a redução da intensidade da deformação causada pelo enchimento do molde.

Como resultado final, houve a eliminação da ocorrência de rompimentos de pele por infiltração no gap entre placas de cobre no molde da MLC#2 da CST Arcelor Brasil, conforme mostrado na Figura 8.

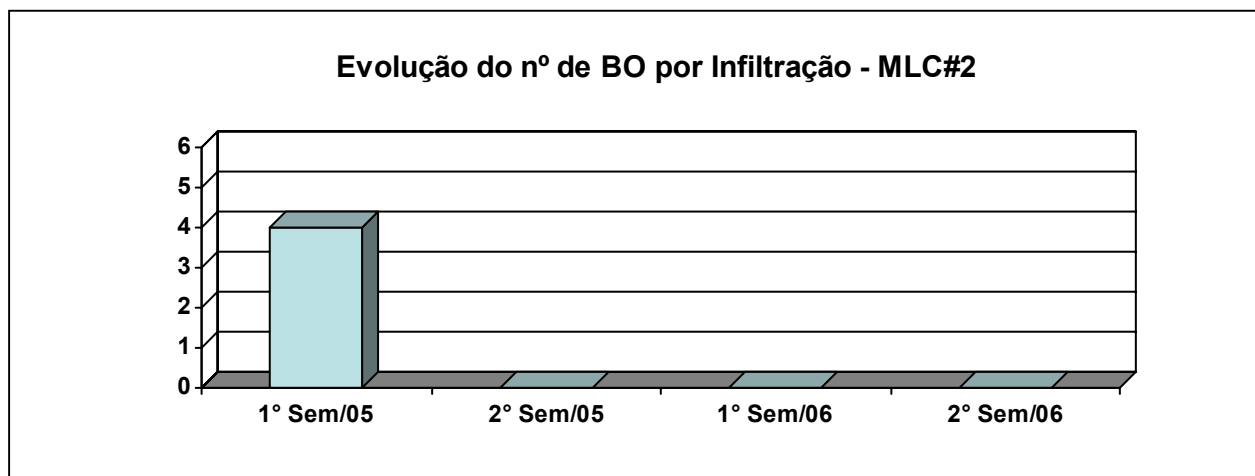


Figura 8 – Evolução do Número de rompimentos (BO) causados por infiltração entre placas do molde na MLC#2 da CST Arcelor Brasil.

PRÓXIMOS PASSOS

Um novo molde foi projetado, objetivando menor temperatura superficial das placas de cobre durante o processo. Os testes estão previstos para o primeiro semestre de 2007. Este molde possui menor espessura e novo desenho das canaletas de refrigeração (slits). Os resultados esperados são: uma menor deformação superficial durante o lingotamento e uma maior estabilidade operacional, com a menor formação de abertura entre placas de cobre durante a operação, resultando em menor risco de ocorrência de rompimento de pele.

CONCLUSÃO

- Em função da ocorrência de 4 rompimentos de pele em um curto período, a CST Arcelor Brasil realizou uma intensa investigação no molde de sua MLC#2, utilizando ferramentas próprias para diagnóstico e melhoria de produtos e processos (FMEA e FTA).
- Foram identificados os componentes críticos e estabelecido um Plano de Ações. Realizado acompanhamento mensal das ações do plano (42 ações ao todo) e do indicador da meta;
- Foram padronizadas diversas atividades nas áreas de operação e manutenção mecânico-elétrica;
- A partir das ações estabelecidas, não houve registro de ocorrência de breakout por infiltração no gap do molde em modo twin desde 13/05/2005;
- Desenvolvido novo projeto de molde, com início de testes previstos para o primeiro semestre de 2007.

REFERÊNCIAS

- 1 PERIM, C. A., CUNHA, R. R., NASCIMENTO, A. D., SILVA JUNIOR, J. A., SILVA, A. G. O lingotamento twin na máquina de lingotamento contínuo número 2 da Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST. 13º Seminário de Aceria, Buenos Aires, Argentina, 29, 30 e 31 de Outubro e 1º de Novembro de 2001, pp. 17-25
- 2 BELEM, A. C. V. et ali. Programa Seis Sigma Black Belts – Sessão 2 Industrial – Fundação de Desenvolvimento Gerencial - 2001.
- 3 RELATÓRIO TÉCNICO FINAL – Projeto “Reduzindo as paradas das Máquinas de Lingotamento Contínuo por rompimento de pele – breakout” – INDG – outubro de 2005.