

SISTEMA TRIAXIAL PARA MONITORAÇÃO DA OSCILAÇÃO DO MOLDE¹

José Nilton Tozato Junior²
Alfonso Ignacio Mendieta Morinigo³

Resumo

Um sistema portátil constituído por acelerômetros triaxiais foi desenvolvido e utilizado para monitorar a performance da oscilação do molde das máquinas de lingotamento contínuo do Brasil. O sistema emprega acelerômetros triaxiais para medir a aceleração do molde na direção vertical (eixo Y), nas duas direções horizontais, perpendicular à fase superior do molde (eixo X) e a fase lateral do molde (eixo Z). Através dos sinais de aceleração, que são coletados por um computador portátil, calcula-se a velocidade e o deslocamento do molde nas três direções usando técnicas de análise de frequências.

Palavras-chave: Molde; Lingotamento contínuo; Oscilação do molde.

TRIAxIAL SYSTEM FOR MOULD OSCILLATION MONITORING

Abstract

A portable accelerometer-based system has been designed and used to monitor mould oscillation on many continuous casting machines in Brazil since the beginning of 2002. The system employs tri-axial accelerometers to measure mould acceleration in the vertical direction (y axis) and in the two horizontal directions perpendicular to the mould narrow (z axis) and broad faces (x axis). From the acceleration signals, which are gathered by a portable computer, the mould velocity and displacement are calculated in the three directions using a frequency analysis technique.

Key words: Mould; Mould oscillation; Continuous casting.

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

² *Mechanical Engineer Motion & Vibration Measurement & Analysis Specialist - Hamilton University EEUU - nilton@tozato.com.br – Tozato Engenharia.*

³ *Engineering of Production & Logistics Specialist – UFES Brazil - alfonso@tozato.com.br – Tozato Engenharia.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de mudança na indústria siderúrgica na última década foi constante. No início uma competição feroz entre empresas que com o processo de globalização levou a criar os conglomerados siderúrgicos que buscam principalmente ser mais competitivos e oferecer ao mercado produtos de alta qualidade, com o máximo rendimento e eficácia. No processo de fabricação do aço *steelmaking* das siderúrgicas modernas o oscilador do molde é um componente chave e seu funcionamento incorreto impacta diretamente na qualidade superficial do produto independente da destinação ou da liga que o compõe. Ao operar o sistema de monitoração da oscilação do molde são reduzidos os custos de manutenção incorridos tipicamente por trocas prematuras de peças e componentes do equipamento atingindo o objetivo primordial da empresa, que são a qualidade do produto e o maior valor agregado no mercado.

O sistema triaxial composto por acelerômetros fornece informações necessárias para criar um conjunto de indicadores que avaliam corretamente o desempenho da máquina trazendo um alto retorno na relação custo - benefício. Este instrumento de medição foi concebido para atender de forma ampla as operações inerentes do lingotamento contínuo e tem como escopo as seguintes premissas:

- Desenvolver um histórico do comportamento dos parâmetros de oscilação durante seu ciclo de vida;
- Fornecer indicadores para realizar manutenções preditiva;
- Otimizar o planejamento necessário para reparar o oscilador durante as paradas programadas;
- Monitorar as características da oscilação do molde e a qualidade do produto;
- Otimizar tempo e recursos.

Nenhum parâmetro em relação ao movimento da oscilação pode individualmente prever o comportamento dos componentes, o ciclo de vida do oscilador como um todo ou o grau de influência que este parâmetro exerce sobre a qualidade do produto. Entretanto, com uma combinação de parâmetros será possível criar indicadores de desempenhos que permitirão às áreas de manutenção, operação e qualidade que atendem o lingotamento contínuo terem informações que avalizem as decisões em tempo real do desempenho do oscilador em conjunto com outros parâmetros:

- Freqüência primária de oscilação;
- Aceleração (Vertical);
- Velocidade (vertical);
- Deslocamento (sentidos verticais e horizontais perpendiculares à face lateral e superior do molde eixo X, Y e Z);
- Relação das fases nas quatro arestas;
- Simetria do ciclo da onda senoidal produzido de acordo com a amplitude *stroke*;
- Vibrações de baixas, médias e alta freqüência.

Permanentemente monitorados estes parâmetros do sistema do oscilador fornecerão informações para desenvolver o melhor perfil de funcionamento dos osciladores. Subseqüentemente ao apresentar problemas de funcionamento da máquina ou defeito de superfície no produto, provocado por falhas de oscilação, o sistema de monitoração da oscilação do molde poderá detectar a causa destes. Três parâmetros adicionais são muito úteis para avaliar as características impróprias da oscilação que podem conduzir aos defeitos de superfície:

- Taxa e Tempo de Estripamento Negativo;
- *Mold Lead*;
- Fricção;

A oscilação do molde segundo McManus⁽¹⁾ foi introduzida no processo de fabricação de aço em 1949 para impedir os furos constantes da pele do produto durante o processo de lingotamento inserindo entre o produto lingotado e o molde lubrificação constante e suficiente para não comprometer a pele do produto e, por conseguinte a qualidade do mesmo. Desde então, a oscilação do molde transformou-se numa prática comum em todos os processos de fabricação de aços de lingotamento contínuos.

A qualidade de superfície do produto é altamente dependente da curvatura do molde, tipo de oscilação (senoidal, triangular) e seus parâmetros, tais como o curso e a frequência de oscilação constatado por Wolf.⁽²⁾ Isto explica a importância e o esforço de desenvolver técnicas de medição e monitoração da oscilação do molde. Cabe destacar três técnicas de medição para avaliar o movimento de oscilação: relógio calibradores, transformador diferencial de variável linear (LVDT), acelerômetros triaxiais.

A tecnologia de controle triaxial da oscilação do molde tem sido utilizada desde o ano de 2002 nas empresas de lingotamento contínuo do Brasil e hoje aproximadamente 95% destas estão medindo e monitorando os osciladores onde mercê ao alto grau de confiabilidade e precisão é um componente primordial no controle de processos tornando-se instrumento de check-up da qualidade da manutenção.

Este artigo visa mostrar resumidamente os impactos e benefícios desta nova ferramenta de controle de processo e de manutenção obtidos por várias máquinas de lingotamento contínuo de placas e tarugos do Brasil.

2 SISTEMA DE ACELERÔMETROS TRIAXIAS

Um sistema típico de acelerômetros triaxiais para monitoração da oscilação do molde consiste em quatro acelerômetros triaxiais, cabos e um computador portátil *lap-top*.

Os quatro sensores são posicionados no topo do molde ou da mesa de oscilação como mostra a Figura 1, cada um deles monitora independentemente a performance primária da oscilação do ponto onde está posicionado no oscilador. Sendo comum posicioná-los nos cantos do molde ou da mesa de oscilação maximizando-se a quantidade de informações necessárias para avaliar com precisão as condições do oscilador.

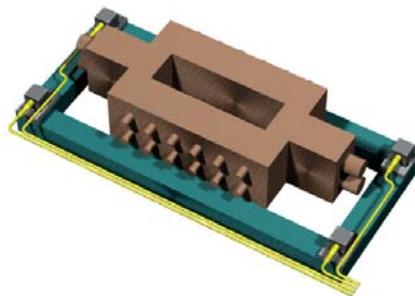


Figura 1: Posicionamento dos sensores triaxiais

Cada sensor triaxial é composto de três acelerômetros capacitivos adequadamente alojados no interior de um corpo de aço inoxidável em formato de um cubo de 35mm devidamente protegidos contra as intempéries do meio externo como ilustra a Figura 2.

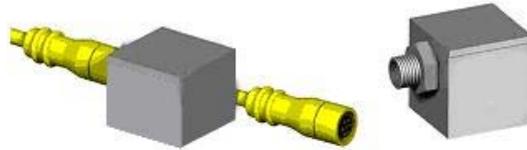


Figura 2: Sensores triaxiais

Estes acelerômetros são orientados na vertical e nas duas direções horizontais, uma perpendicular à face superior do molde e a outra à face lateral. Um conector no exterior do corpo do sensor permite a conexão com um cabo para transmissão dos dados para o computador.

No interior do computador um cartão de aquisição de dados faz a interface com um software que coleta, armazena e analisa os dados da aceleração, integrando matematicamente para obter os valores de velocidade e deslocamento. A partir daí, calcula-se os parâmetros primários da performance do oscilador usando simultaneamente os dados coletados de frequência e tempo:

- Frequência de oscilação primária (Hz);
- Frequências de oscilação secundária (Hz);
- Ruídos externos indesejados (mancais ou redutora gerando vibrações);
- Velocidade do molde nos três eixos (X, Y e Z);
- Vertical e nas outras duas direções horizontais perpendicular à face superior e lateral do molde respectivamente. (mm/seg ou in/seg);
- Deslocamento nos três eixos vertical e nas outras duas direções horizontais perpendicular à face superior e lateral no molde respectivamente. (mm ou in);
- Fase relativa às arestas onde são colocados os sensores do molde (graus);
- Compara a onda senoidal produzida em cada aresta no molde para determinar a diferença de fase dos quatro pontos onde ficam localizados os sensores;
- Ciclo de simetria da onda senoidal (Relação subida / descida);
- Taxa calculada pelo tempo de subida do molde do ponto inferior vertical para amplitude máxima, dividido pelo tempo de deslocamento do molde desde a máxima até mínima amplitude atingida;
- Tempo de estripamento negativo (seg);
- Quantidade de tempo do ciclo de oscilação onde o molde se desloca na direção de lingotamento com velocidade superior ao veio;
- Mold lead (mm ou in);
- Distância que o molde se desloca durante o tempo de estripamento negativo gerando as marcas de oscilação;
- Fricção (Atrito);
- Combinação dos ruídos externos da mesa de oscilação derivados da interface entre o molde e o produto, assim como o sistema de acionamento do oscilador (mancais, redutoras, eixos e rótulas).

3 SISTEMA DE EQUAÇÕES E ANÁLISE GRÁFICA

As equações 1, 2 e 3 que descrevem o deslocamento senoidal do molde e suas resultantes velocidades e aceleração são mostradas abaixo:

$$\begin{aligned} d(t) &= \frac{1}{2} S \sin(\omega t) && \text{Equação 1;} \\ v(t) &= \frac{1}{2} S \omega \cos(\omega t) && \text{Equação 2;} \\ a(t) &= -\frac{1}{2} S \omega^2 \sin(\omega t) && \text{Equação 3;} \end{aligned}$$

Onde:

- d(t):** Deslocamento vertical do molde;
- v(t):** Velocidade vertical do molde;
- a(t):** Aceleração vertical do molde;
- S:** Curso pico a pico;
- ω :** Velocidade angular ($2\pi f$);
- t:** Tempo (segundos);
- f:** Freqüência de oscilação (Hz).

A Figura 3 representa graficamente as equações descrevendo o padrão de uma onda senoidal.

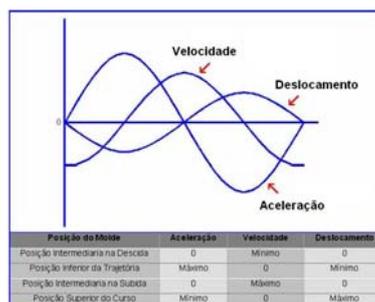


Figura 3: Padrões de oscilação do molde. ⁽³⁾

Para análise de freqüência é utilizada uma onda senoidal tida como padrão da oscilação e representada num gráfico (amplitude versus freqüência) como uma simples linha vertical com magnitude semelhante à amplitude da onda função seno destacada na Figura 4.

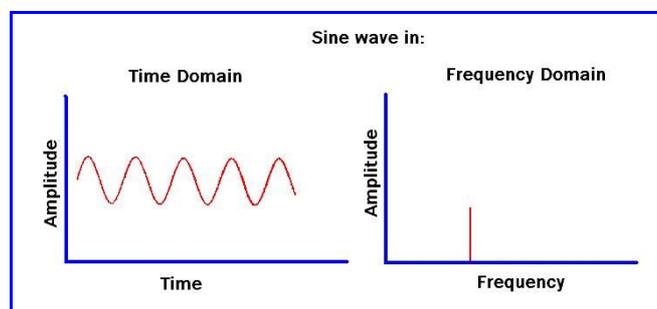


Figura 4: Tempo e Freqüência dominante. ⁽⁴⁾

Levando em consideração a somatória de ondas secundárias com freqüências mais altas provenientes de freqüências externas devido à deterioração que sofre o sistema de acionamento, desalinhamento entre o molde e o raio de lingotamento, fricção etc.

Na Figura 5 o item e representa amplitude versus frequência de uma onda típica da situação descrita acima, mostrando o conjunto de ondas secundárias sendo separadas por suas frequências dominantes onde na mesma Figura 5 temos: a) Duas ondas seno, b) Duas ondas seno combinadas, c) Ilustração 3D de diferentes vistas, d) Gráfico amplitude x tempo, e) Gráfico amplitude x frequência visto por um software FFT.

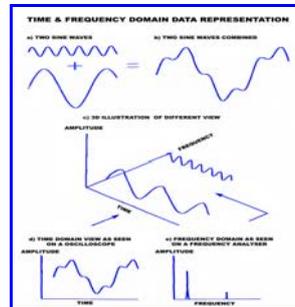


Figura 5: Tempo e Frequência dominante de ondas secundárias.⁽⁴⁾

4 APLICAÇÕES DO SISTEMA

A tela gráfica de animação 3D do software segundo estudo de Tozato⁽⁵⁾ destacado na Figura 6 gera um modelo que descreve o comportamento do molde a partir dos dados coletados pelos sensores localizados nas quatro arestas da mesa de oscilação após a mesma oscilar por alguns minutos apresentando o comportamento do molde para sua avaliação visual. Além desta informação o sistema triaxial proporciona conhecimento dos parâmetros de fundamental importância, como a performance de oscilação das mesas ou análise vibracional das peças integrantes dos osciladores (mancais, redutoras, eixos, rótulas etc.) para as áreas de manutenção, operação e qualidade de vital importância para realizar diagnósticos instantâneos ou de acordo com a demanda das diferentes áreas que atendem o lingotamento contínuo.

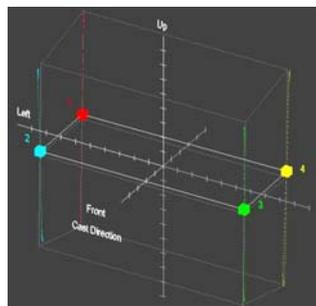


Figura 6: Animação 3D produzida pelo software.

Para Manutenção

Criação de um banco de dados: Durante o processo de instalação de um oscilador novo ou reparado é imprescindível avaliar as condições iniciais do conjunto de acionamento e da mesa de oscilação antes de submetê-lo as condições agressivas do processo de lingotamento. Com esta prática é possível obter o ponto de referência *benchmark* das condições mecânicas iniciais do conjunto oscilador, permitindo comparar com as próximas monitorações em busca de sinais de desgaste e deterioração dos componentes da máquina no decorrer do tempo.

Evita danos mais graves através de um diagnóstico de problemas iminentes: Uma vez construído um banco de dados inicial do oscilador novo, compara-se os parâmetros da performance inicial *benchmark* do oscilador com as medições seguintes, identificando as

variáveis que ficaram fora da tolerância que promoveriam danos ao equipamento e conseqüente parada do mesmo.

Para determinar desalinhamento do molde em relação ao raio da máquina, aço e sujeira no percurso da trajetória de oscilação do molde ou desgaste do maquinário, os seguintes aspectos deverão ser monitorados e comparados com o *benchmark* da mesa de oscilação:

- Aspecto geral da qualidade de oscilação como forma e amplitude de cada aresta do molde;
- Alterações nas propriedades da oscilação durante uma medição do molde com aço (com carga) e sem aço (sem carga);
- Deslocamento horizontal perpendicular em relação à face superior e lateral do molde;
- Compara a onda senoidal produzida pelo sensor de referência (sensor 1) e as demais ondas senoidais coletadas pelos outros sensores em cada aresta do molde para determinar suas diferenças de fase;
- Freqüências externas adicionais (ruídos causados por desalinhamento, empenos, folgas, desgastes, etc.).

Redução do tempo de manutenção: A programação e planejamento da manutenção podem ser otimizados quando se conhece as condições da máquina antes da parada, para reparo e manutenção preventiva. O monitoramento periódico determina se o oscilador necessita de alguma manutenção, eliminando ou reduzindo paradas e esforços desnecessários. O monitoramento inicial das condições dos parâmetros da oscilação não só promove informações imprescindíveis para manutenção, como também ajuda na avaliação das condições que afetam a qualidade do produto.

Permite análise vibracional do oscilador: Além da análise quantitativa e qualitativa da performance da trajetória da mesa de oscilação, o sistema permite obter uma análise vibracional tridimensional de cada peça integrante do sistema de oscilação posicionando os sensores nas peças do oscilador como mostra a Figura 7.

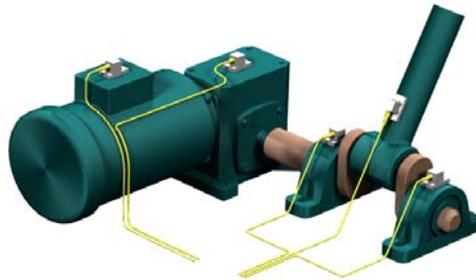


Figura 7: Posicionamento dos sensores nas peças integrantes do conjunto de oscilação.

Colocando os sensores nestas posições é possível avaliar através da visualização do *spectrum* FFT nos eixos X, Y e Z ilustrada na Figura 8. A quantidade de ruído gerado ou encontrado nas peças. Com isso, é possível determinar a origem dos desalinhamentos, empenos, folgas e desgastes encontrados na mesa de oscilação.

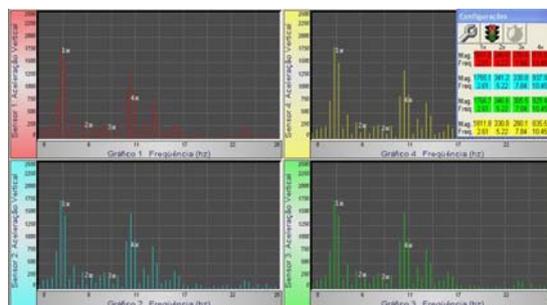


Figura 8: Spectrum FFT no sentido Vertical captado pelos sensores 1, 2, 3 e 4.

Para Operação

Monitoração dos parâmetros que afetam a qualidade: Com ajuda do sistema de monitoração da oscilação do molde é possível avaliar as variáveis que afetam a qualidade superficial do produto lingotado. Parâmetros de trajetória como freqüência de oscilação, curso vertical, parâmetros de ruídos e parâmetros metalúrgicos como fricção, tempo de estripamento negativo e *mold lead* influenciam diretamente na qualidade superficial do produto.

A freqüência de oscilação usada para o cálculo do tempo de estripamento negativo, cria uma ação de bombeamento forçando a descida do fluxo de pó fluxante por entre a parede do molde e a pele solidificada. Esta lubrificação também ajuda no processo de remoção de calor. Caso a freqüência esteja fora da faixa adequada, a performance do fluxo líquido do pó fluxante será prejudicada. Excesso deste material pode também inibir a taxa de transferência de calor criando pontos quentes e reduzindo a espessura da pele solidificada, enquanto que pouca lubrificação gera agarramento da pele *sticker* com a parede do molde.

O estripamento negativo é inversamente proporcional à freqüência de oscilação como mostra a Figura 9, quanto maior o tempo de estripamento negativo maior a profundidade das marcas de oscilação. Além disso, a distância entre as marcas de oscilação é dada pela equação 4:

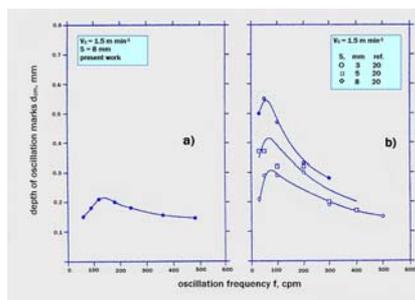


Figura 9: Efeito da freqüência e o curso e na profundidade da marca de oscilação.⁽⁶⁾

$$d = (v/f) / 1000. \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- d:** Distância das marcas de oscilação. (mm);
- v:** Velocidade de lingotamento. (m/min);
- f:** Freqüência de oscilação. (cpm).

Erros na freqüência de oscilação ou mau funcionamento do inversor de freqüência da mesa de oscilação, como ocorrido na empresa “C” da Tabela 1 do ANEXO, além da perda da qualidade com incremento de 4% dos defeitos superficiais, acarretam danos na

estabilidade do processo devido ao acréscimo no número de paradas da máquina pela elevação da incidência de *break outs*.

O parâmetro mais medido em um molde curvo é o curso vertical *stroke*, que varia segundo os princípios da cinemática de acordo com raio de oscilação. O curso vertical será superior na retaguarda da fase superior e menor na fase superior dianteira de acordo com o raio de oscilação que cada ponto descreve gerando normalmente um deslocamento horizontal na faixa de 0.25mm (0.010") perpendicular da retaguarda da fase superior.

Os desgastes ou defeitos próprios dos componentes tais como rótula defeituosa, pinos desgastados, buchas deslocadas ou eixo excêntrico empenado, irão afetar negativamente no *stroke* do molde. Com isso dois eventos adversos ocorrem, a magnitude do curso se altera, o ciclo assimétrico expresso em percentual decresce e mais uma vez a qualidade do produto será prejudicada.

Um defeito comum atribuído aos eventos acima é chamado de sangramento ou *bleeders*, no qual a pele fina permite que certa quantidade de aço líquido penetre na superfície do produto sendo em seguida resolidificada.

Outro fato resultante do aumento irregular do *stroke* é o aumento da profundidade das marcas de oscilação como mostra a Figura 10, com isso há uma maior tendência de formação de trinca transversal nas zonas de baixa resistência da pele recém solidificada no molde.

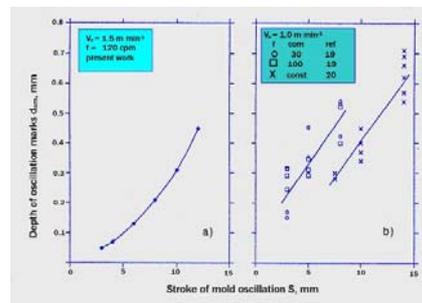


Figura 10: Aumento da profundidade das marcas de oscilação e curso da oscilação. (6)

Normalmente as marcas de oscilações mais profundas e depressões superficiais reduzem a extração de calor da pele como mostra a Figura 11. As trincas formadas nas zonas 2 e 3 estão relacionadas com os grãos austeníticos.

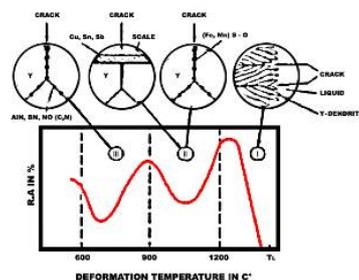


Figura 11: Faixa de temperatura de baixa ductibilidade. (6)

O *Mold lead* é a distância que o molde se desloca durante o tempo de estripamento negativo gerando as marcas de oscilação. O valor visado é baseado na qualidade do aço produzido e nas condições da máquina (normalmente entre 2.00-4.00 mm), na qual a linha de lingotamento não apresenta tendência ao agarramento no molde.

O *Mold lead* é diretamente proporcional ao *stroke* ou curso vertical da oscilação do molde e conforme mostra a Tabela 1 do ANEXO, a grande maioria das empresas apresentou erros de deslocamentos verticais *Up-Down* trazendo efeitos negativos ao *Mold lead* e consequentemente à qualidade do produto e à estabilidade operacional do processo.

Indicação de Falhas em Potencial

O software do sistema de monitoração triaxial da oscilação do molde possui a capacidade de medir o índice de fricção da mesa de oscilação mediante um modelo matemático avançado e oferece as condições de fricção sem carga onde é detectada e medida a interferência dos componentes do sistema de acionamento.

No processo de lingotamento é avaliado o atrito dos componentes do sistema de acionamento, assim como a interface entre o molde e o produto lingotado e os parâmetros metalúrgicos que fazem parte deste processo. O modelo matemático leva em conta os seguintes parâmetros: a) Viscosidade do pó fluxante, b) Nível de aço no molde, c) Frequência de oscilação, d) Superaquecimento, e) Limpidez do aço (Al_2O_3), f) Velocidade de lingotamento, g) Tampa do molde e h) Percentual do carbono. A Figura 12 mostra um diagrama correlacionando à fricção com estes parâmetros.

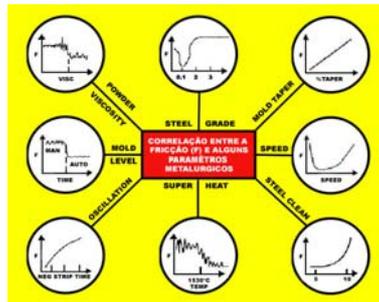


Figura 12: Fricção correlacionada aos parâmetros.⁽⁶⁾

O valor visado para a fricção medida pelo software é dependente do projeto da máquina e baseado no tipo do aço *steel grade* e nas condições de lingotamento. Com a ajuda de um monitoramento contínuo durante o processo de lingotamento (com carga), o sistema triaxial de controle da oscilação do molde obtém uma série de informações imprescindíveis para o processo, que auxiliam no desenvolvimento e aprimoramento do entendimento das correlações das variáveis de lingotamento podendo ser empregados para desenvolver novos procedimentos operacionais de controle de processo.

Um estudo recente sobre lubrificação e fricção do molde empregando o sistema triaxial de controle do molde em uma empresa norte-americana demonstrou que 15 a 20 segundos antes de um *break out* há uma notável alteração do valor da fricção medida. A Figura 13 destaca no círculo amarelo um aumento expressivo de fricção nos sensores e uma queda na frequência de oscilação.

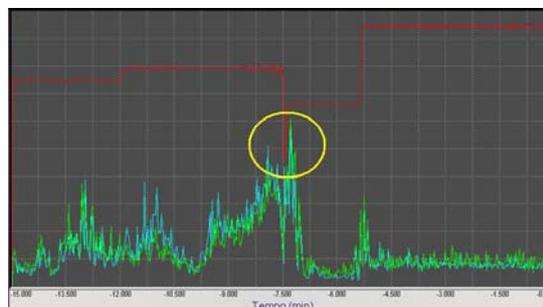


Figura 13: *Break out* registrado pelo sistema.

Benefícios do Sistema

Algumas irregularidades são destacadas de forma resumida na Tabela 1 as mesmas foram detectadas através de diversas pesquisas realizadas utilizando o sistema de

monitoração da oscilação do molde em empresas que utilizam o processo de lingotamento contínuo na produção do aço. Além disso, a mesma tabela mostra as causas dos problemas, ações preventivas e corretivas a serem adotadas para eliminação das irregularidades encontradas e finalmente um breve resumo dos benefícios adquiridos com o sistema de monitoração da oscilação do molde.

Tabela 1: Resumo de irregularidades detectadas.

EMPRESA	IRREGULARIDADES	CAUSAS	AÇÕES EXECUTADAS	BENEFÍCIOS
A	Erro de Up-Down de 3.71 mm. Nível elevado de ruído de baixa e média frequência com 483.1 mm/sec ² e 153.2 mm/sec ² consecutivamente. Erro de mold lead de 8.05 mm.	Folga na bucha da rótula do eixo excêntrico. Eixo excêntrico com curso maior que o projetado, sujeira (aço preso na lateral da mesa). Conjunto do excêntrico quebrado, mancal com folga, sujeira na lateral da mesa e nas articulações, eixo da rótula do excêntrico empenado.	Troca da bucha do excêntrico. Ajuste do eixo excêntrico, limpeza periódica na mesa e programada para as articulações da mesa, implantação de pequenas caixas nas articulações para evitar o acúmulo de sujeira, reforço no eixo da rótula do excêntrico e aperto no mancal.	Redução de 8 perfurações mensais, redução de 2% de defeitos superficiais (trinca transversal e longitudinal), aumento da produtividade (menos paradas) da máquina e menor desgaste do maquinário (menos peças que se danificariam por falta de manutenção e ou efeitos das perfurações).
B	Erro de Up-Down de 2.51mm; erro de Left-Right de 2.72mm; erro de Front-Back de 1.02mm; nível elevado de ruído de baixa, média e alta frequência com 1442.6mm/sec ² , 914.7mm/sec ² e 128.1mm/sec ² consecutivamente. Erro de mold lead de 6.70 mm.	Folga nas molas da caixa de mola do eixo excêntrico, folga na mesa de oscilação, sujeira na lateral e articulações da mesa de oscilação, erro no ajuste do curso do excêntrico. Caixa de mola do excêntrico com excesso de pressão e folga na bucha do eixo da rótula do excêntrico.	Ajuste de pressão nas molas da caixa do eixo do excêntrico, substituição da mesa de oscilação e troca de buchas com folga.	Redução de 6 perfurações mensais, redução de 3% de defeitos superficiais (gota fria, trinca transversal e depressão), aumento da produtividade (menos paradas) da máquina e menor desgaste do maquinário (menos peças que se danificariam por falta de manutenção e ou efeitos das perfurações).
C	Erro de Up-Down de -1.38mm. Erro de Left-Right de 0.93 mm. Erro de Front-Back de 0.99 mm; residual de 1.45 mm. Nível elevado de ruído de baixa e média frequência com 1124.7mm/sec ² e 615.3mm/sec ² consecutivamente. Erro de mold lead de 4.57 mm.	Conjunto do oscilador com folga (solto), erro no ajuste do curso do excêntrico, excesso de ruído na redutora, inversor de frequência do molde danificado (queimado), sujeira na lateral e nas articulações da mesa de oscilação e sujeira no conjunto do oscilador.	Fixação do conjunto de oscilação (redutora e mancais), ajuste no curso do excêntrico, substituição do inversor, limpeza periódica e programada da mesa e das articulações da mesa e conjunto de oscilação.	Redução de 12 perfurações mensais, redução e 4% de defeitos superficiais, aumento da produtividade (menos paradas) da máquina e menor desgaste do maquinário (menos peças que se danificariam por falta de manutenção e ou efeitos das perfurações).
D	Erro de Up-Down de 0,82mm. Erro de Left-Right de 0,54 mm. Nível elevado de ruído de baixa e média frequência com 122,0 mm/sec ² e 270,0 mm/sec ² consecutivamente. Erro de mold lead de 5.04 mm.	Folga nas buchas do eixo da rótula do excêntrico, inversor danificado gerando erro na curva oscilação X velocidade lingotamento, sujeira na lateral e nas articulações da mesa de oscilação, perda de regulagem no curso do eixo do excêntrico e mancais soltos.	Ajuste nas buchas do eixo do excêntrico, aperto nos parafusos de fixação dos mancais, regulagem no curso do eixo excêntrico, limpeza periódica na mesa e articulações da mesma e acerto do inversor.	Redução de 3 perfurações mensais, redução de 2% de defeitos superficiais (trinca longitudinal), aumento da produtividade (menos paradas) da máquina e menor desgaste do maquinário (menos peças que se danificariam por falta de manutenção e ou efeitos das perfurações).
E	Erro de Up-Down de 7.71 mm. Erro de Left-Right de 0,53 mm; erro de Front-Back de 0.58 mm. Residual de 3.58mm. Nível elevado de ruído de baixa, média e alta frequência com 3731.8mm/sec ² , 881.3mm/sec ² e 153.7 mm/sec ² consecutivamente. Erro de mold lead de 11.24 mm.	Erro no ajuste do curso do excêntrico, excesso de pressão nas molas amortecedoras pneumáticas, erro de projeto (excesso de peso de algumas lingoteiras), sujeira na lateral e nas articulações da mesa de oscilação.	Regulagem do excêntrico, regulagem na pressão das molas e limpeza periódica da mesa e articulações da mesma.	Redução de 4 perfurações mensais, redução de 3% de defeitos superficiais, aumento da produtividade (menos paradas) da máquina e menor desgaste do maquinário (menos peças que se danificariam por falta de manutenção e ou efeitos das perfurações).

5 CONCLUSÃO

Esta tecnologia de controle triaxial visa atender a falta de ferramenta adequada para o controle predictivo do lingotamento contínuo, pois este sistema especialista mede os parâmetros de deslocamento e vibração que ajudam a conhecer o *stroke* real da máquina além dos desgastes dos componentes do sistema. Cabe destacar que o sistema tem um diferencial ao medir parâmetros metalúrgicos primordiais para a produção do aço no qual podemos destacar o *mold lead* e a fricção que são fundamentais para a qualidade do aço.

Após cinco anos de sua divulgação e implantação 95% das empresas brasileiras utilizam este sistema no intuito de reduzir ao mínimo possível os riscos de paradas do molde e perdas da qualidade de produção downgrading. Isto é corroborado na aceitação deste novo conceito de controle e performance da oscilação do molde.

Estas empresas brasileiras adotaram essa tecnologia de controle de processo e manutenção, que por meio deste estudo vem mostrar ser uma poderosa ferramenta de controle, ideal para os dias de hoje, onde a pressão competitiva nas indústrias siderúrgicas brasileiras em um cenário globalizado, visa a cada dia aumentar a produtividade, garantir a excelência da qualidade e rendimento sob menores custos.

REFERÊNCIAS

- 1 McManus, G. J. Continuous Casting Continues to Evolve New Techniques, Vol. 224, No. 4, Iron Age, 1951.
- 2 Wolf, M.M. Mold Oscillation Guidelines, 74th Steelmaking Conference Proceedings, pp. 11-71, 1991.
- 3 Wowk, V. Machinery Vibration Measurement and Analysis, Mc- Graw – Hill, 1991.
- 4 Ramirez. R. W., The FFT Fundamentals and Concepts, New Jersey, Prentice Hall PTR, 1985
- 5 Tozato, Júnior, J.N., A Study of The Applications of Mechanical Vibration Measurement & Analysis in Continuous Casting Machine, Hamilton University, 2002, pp12-15
- 6 Schwerdtfeger. K., Course on Continuous Casting and Solidification of Steels, 2002, p 33-35.