



XVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 02 a 06/08/2010 - Viçosa – MG  
Paper CREEM2010-FP-08

## COMPORTAMENTO DINÂMICO VIBRATÓRIO EM MÁQUINAS FERRAMENTA

**Luiz Schweitzer, Dipl. Ing. Pascal Maglie e Prof. Dr. -Ing Walter Lindolfo Weingaertner**  
UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário - Trindade - CEP 88040-970 - Florianópolis  
E-mail: luiz.schweitzer@gmail.com

### Introdução

Cada máquina-ferramenta, de acordo com a distribuição de massa, assim como a rigidez e os coeficientes de amortecimento entre seus componentes possui diferentes modos de vibração. Nas frequências de ressonância correspondentes, a amplitude do movimento atinge os maiores valores. Isso pode acarretar em uma significativa perda das tolerâncias garantidas pela máquina no caso em que as frequências naturais coincidem com as frequências de trabalho.

### Objetivo

O Laboratório de Mecânica de Precisão da Universidade Federal de Santa Catarina (LMP-UFSC) possui uma parceria com o Instituto de Máquinas Ferramenta e Fabricação da Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (IWF-ETHZ) na Suíça. O intercâmbio de alunos entre os laboratórios acontece principalmente nas áreas de usinagem de geometria não definida e simulação dinâmica em máquinas ferramenta. O trabalho de doutorado de Pascal Maglie (IWF-ETHZ) consiste na formulação de métodos focados na simulação do comportamento dinâmico vibratório condizente com o que ocorre realmente na máquina ferramenta (MF). Através de ferramentas de simulação é possível identificar potenciais problemas antes mesmo da construção do protótipo. No entanto a confiabilidade desse método é de grande interesse e é sempre recomendado que se confronte os dados da simulação com análises experimentais.

Um dos ensaios realizados no projeto consistiu na medição da fresadora geradora de engrenagens Agilus 180TH da empresa Gleason-Pfauter, localizada em Studen - Suíça. O estudo foi direcionado na correlação entre o comportamento dinâmico da MF e a superfície da peça usinada.

### Análise Experimental

A análise modal é o método mais indicado para o problema. Para isso é necessário que em diversos pontos sejam medidos as acelerações oriundas de uma mesma excitação. A seleção dos pontos é realizada visando à caracterização dos mais importantes componentes (eixos e suas respectivas sapatas e guias), assim como das partes mais suscetíveis. Para tal são necessários acelerômetros, os quais são dispositivos constituídos de um cristal piezoelétrico, para medição simultânea das três dimensões. A excitação é realizada por um martelo que também possui um sensor, mas este capaz de medir a força aplicada. Os sinais provenientes do acelerômetro e do martelo passam por uma amplificação e as informações podem ser sincronizadas e analisadas pelo software apropriado. Para melhor confiabilidade dos dados obtidos o comportamento do sinal é verificado logo após cada excitação, podendo ser descartado, e cada ponto é mensurado cinco vezes para que uma média seja efetuada. Buscando validar o método experimental, são realizados testes preliminares, os quais têm como finalidade a comprovação da linearidade e confiabilidade do sistema de medição. Após estes testes foi possível observar que a medição realizada com a máquina desligada apresentava melhores resultados do que com a máquina ligada, devido à redução de ruído.

Para verificação do ponto fraco da MF foram medidos vinte e quatro pontos na estrutura. Os pontos foram distribuídos de maneira a proporcionar a visualização do comportamento da árvore da ferramenta, da árvore da peça e do contra ponto da peça em um espectro de frequência.

O processo é dividido em duas etapas, uma de desbaste e outra de acabamento, sendo que para cada um destes utiliza-se uma diferente frequência. Uma vez realizada a análise modal, foi feita uma análise adicional durante o processo. Para isso foram posicionados seis acelerômetros na MF: dois na árvore da ferramenta, dois na árvore da peça e dois no contra ponto da peça. Os resultados evidenciaram as maiores amplitudes de deslocamento no contra ponto, nas frequências de processo.

## Simulação

Para simulação de elementos finitos foi necessário modelar a estrutura da máquina em CAD, fornecida pelo fabricante, sem afetar as características dinâmicas originais. Isto se torna necessário, pois com o elevado nível de detalhes e pequenas falhas (linhas, superfícies) a criação da malha para simulação torna-se inviável. Após as simplificações, através dos momentos de inércia relacionados à máquina e também das propriedades de conexão entre os componentes, são definidas todas as condições de contorno.

O procedimento descrito foi realizado para a fresadora geradora de engrenagens. Baseado nas condições de contorno e propriedades da estrutura criou-se um modelo cujos modos de vibração e respectivas frequências condizem aos obtidos através do método experimental. Com este procedimento foi obtida a validação do método de elementos finitos e o modelo está pronto para auxiliar em possíveis modificações na estrutura para resolução do problema. Apesar deste experimento se referir ao comportamento dinâmico da estrutura da máquina ferramenta, muitas vezes uma análise estática faz-se necessária. Neste caso há a possibilidade de obtenção dos valores das deformações de acordo com a força aplicada à estrutura, e através da lei de Hooke encontra-se a rigidez de um determinado ponto.

Uma solução para aumentar a rigidez da MF seria o reprojeto do contra ponto da peça. Uma proposta de projeto, contendo seis sapatas de esferas recirculantes, invés de quatro, foi avaliada. Nesta solução verificou-se um aumento considerável da rigidez na direção x (Fig.1) e na direção y por um fator 2. Através da análise modal (Fig.2) constatou-se que devido ao aumento de 10% na frequência de ressonância, esta não mais coincidia com a frequência aplicada no processo. Em cada figura o modelo da esquerda é referente ao modelo original, enquanto o da direita referente ao modelo alterado pela empresa.

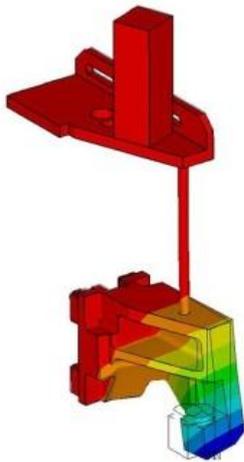


Fig.1 – Análise estática

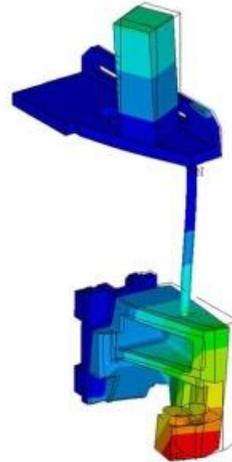
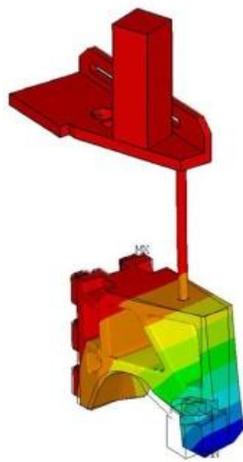
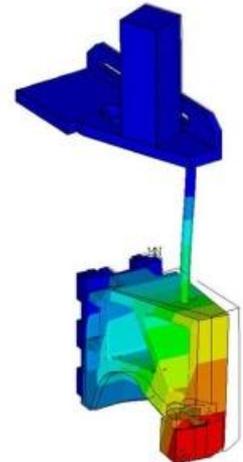


Fig.2 – Análise modal



## Conclusões

O resultado positivo do modelo foi então encaminhado para a Gleason-Pfauter, a qual adotou a modificação sugerida e constatou expressivas melhoras na usinagem da peça.

## Agradecimentos

Dr.-Ing Walter Lindolfo Weingaertner, coordenador do LMP-UFSC, pela oportunidade oferecida e orientações.

Dr. Fredy Kuster, coordenador chefe do grupo de processo do IWF-ETHZ, pela orientação nas atividades realizadas.

Pascal Maglie, doutorando do IWF-ETHZ, pelos ensinamentos durante todo o período de estágio.

Gleason-Pfauter Maschinenfabrik GmbH, pela cortesia de permissão desta publicação.

## Referências Bibliográficas

Agilus 180TH - Disponível em: <<http://www.gleason.com>> Acesso em 09/05/2010

Notas de aula de Fredy Kuster