

PROJETO DE UM DINAMÔMETRO EXTENSOMÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE FORÇAS DE USINAGEM NO FRESAMENTO.

Felipe José Faria Bernardes, Hidekasu Matsumoto, Rafael Gustavo da Rocha Paulo, Eduardo Kenji Yasuda. - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira.

O monitoramento das componentes da força de usinagem é de fundamental importância, pois através delas podemos obter informações sobre o processo e correlacionar dados, tais como temperatura de corte, desgaste da ferramenta, potência necessária para o corte, capacidade de obter tolerâncias reduzidas, bem como a otimização do processo de usinagem (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000). Os esforços ocorridos na usinagem são gerados pela ação que a peça aplica sobre a ferramenta. Existem diversas classificações de forças e componentes que atuam na aresta principal de corte da ferramenta, as quais podem ser vistas no famigerado Círculo de Merchant.

A força (F_u) é a resultante de várias forças presentes durante o corte. Segundo Ferraresi (1970), as principais forças que compõem F_u são a força de corte (F_c), a força de avanço (F_f) e a força passiva (F_p). Estas forças atuam em direções ortogonais entre si e em sentidos contrários ao da velocidade de corte, avanço e profundidade de usinagem. Elas compõem, portanto, as arestas de um paralelepípedo, cujo vértice pertence a um ponto de referência da aresta principal da ferramenta. A Figura 1 ilustra o Círculo de Merchant, com as forças bidimensionais, e as componentes tridimensionais no fresamento.

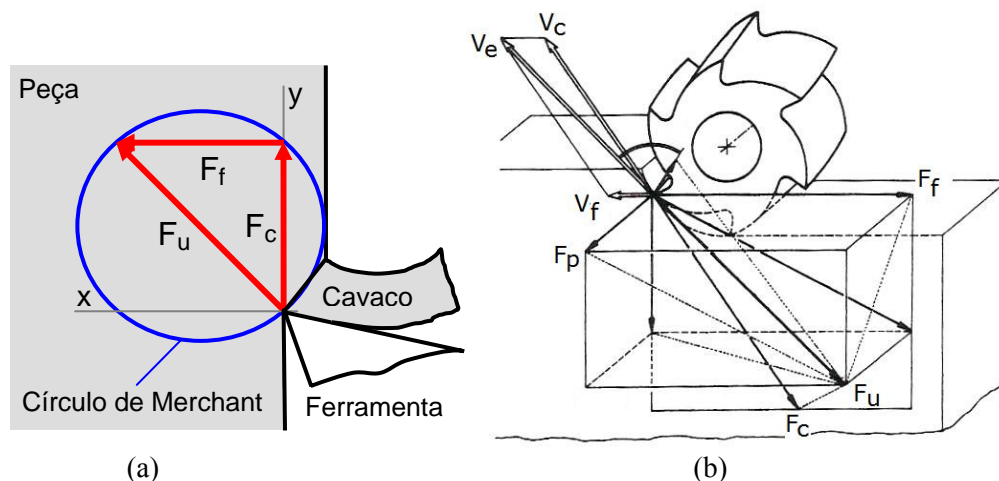


Figura 1 - (a) Círculo de Merchant em 2D e componentes 3D das forças no fresamento.

O dispositivo capaz de medir as componentes de força é o dinamômetro, também conhecido como célula de carga. Este dispositivo é responsável pela conversão de forças em sinal elétrico, geralmente dado em tensão ou diferença de potencial elétrico. Utilizando um ou mais transdutores, dependendo do número de componentes de força que se deseja medir, e efetuando-se previamente uma calibração do sistema, é possível correlacionar a tensão elétrica gerada pelo dinamômetro em resposta à ação de uma força aplicada na peça fixada a ele.

Existem vários tipos de dinamômetros que utilizam diferentes princípios de funcionamento, tais como variação de indutância, capacitância e de resistência elétrica, entre outros. Um dos mais utilizados em usinagem, porém um dos mais caros, é o dinamômetro piezelétrico. A conversão de força em tensão se dá valendo-se das propriedades dos cristais piezelétricos, que podem ser sintetizados em laboratório ou naturais. A compressão de um cristal com tais propriedades gera deslocamento das cargas estáticas de sinais opostos intrínsecas a ele para suas extremidades, o que configura uma diferença de potencial. É justamente essa tensão que, calibrada previamente, permite correlacionar à força aplicada na peça.

O princípio extensométrico para a medida da força baseia-se na deformação do transdutor colado em uma superfície do dinamômetro. O transdutor, mais comumente denominado extensômetro ou *strain-gage*, é uma resistência elétrica assentada em uma base de resina. Existem uma infinidade de opções de tamanho, formatos e aplicações. A superfície onde os extensômetros são fixados

internamente nos dinamômetros pertence ao elemento elástico do conjunto, que é um material mais sensível à deformação. Essa superfície, ao deformar-se pela ação de uma força, também causa a deformação do extensômetro solidário a ela. Deformando-se, esse transdutor gera uma variação da tensão elétrica devido à variação de sua resistência elétrica (RODRIGUES, 2001).

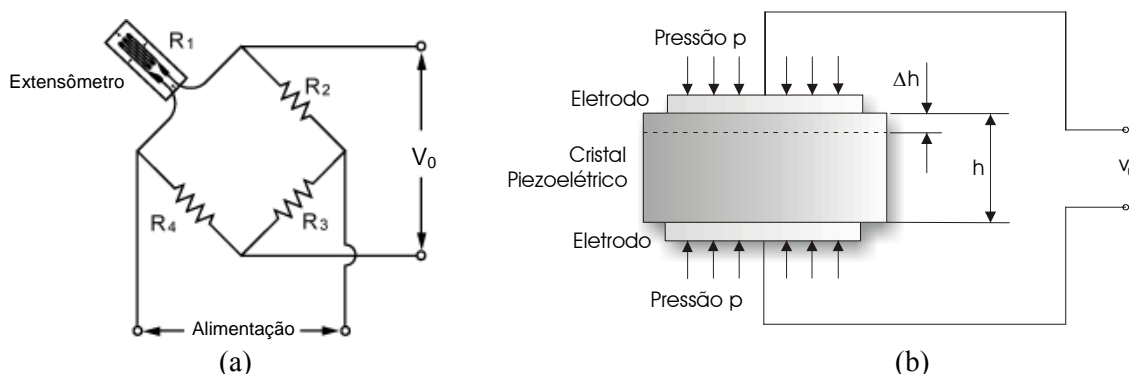


Figura 2 - (a) Exemplo de transdutor extensométrico e (b) piezolétrico.

O presente trabalho apresenta resultados iniciais do projeto de uma célula de carga (dinamômetro) para medição das forças de usinagem no processo de fresamento. Os materiais empregados no projeto são o aço SAE 8620, para compor a parte estrutural do dispositivo, e a liga de alumínio aeronáutico 7075, empregada como elemento elástico do conjunto. Esta liga apresenta módulo de elasticidade baixo (72 GPa), o que permite maior elasticidade associada a bons níveis de limite de escoamento (49 GPa) e de resistência à tração (52 GPa), para não operar no regime plástico. A célula de carga utiliza o princípio extensométrico, com 10 *strain-gages*, oito na direção dos esforços *x-y* e dois no eixo *z*. O método de cálculo do elemento elástico baseou-se no procedimento clássico da resistência dos materiais. As capacidades nominais da célula de carga foram estabelecidas de acordo com os dados práticos encontrados na literatura, sendo 2000 N no plano *x-y* e 10.000 N no eixo *z*. A sensibilidade adotada foi de 2,2 mV/V e a deformação máxima estipulada para o elemento elástico foi de 2200 $\mu\epsilon$. Em extensometria, esses valores são comumente adotados e dependem, basicamente, do tipo de condicionador de sinais empregado.

O conjunto do dinamômetro foi projetado para compor três partes estruturais intercambiáveis: base superior, elemento elástico e base inferior. A primeira é composta por furos roscados distantes entre si de tal forma que possibilita a montagem de vários tipos de morsa para fixação dos corpos-de-prova. O elemento elástico é a estrutura interna onde os sensores são colados para captura dos sinais. A base inferior serve para fixação do dinamômetro na mesa de fresadoras e centros de usinagem CNC. Sua geometria permite o alinhamento dos eixos de medição dos esforços com o sistema de coordenadas das máquinas. A Figura 3 mostra o desenho técnico bidimensional com algumas medidas básicas e uma vista explodida em perspectiva para melhor visualização do conjunto.

No cálculo do elemento elástico, primeiramente obteve-se as deformações ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) em cada direção ortogonal dos eixos, que contou com o número de extensômetros pré-estabelecidos e a deformação máxima adotada. Em seguida, as respectivas tensões normais ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) foram obtidas através da *Lei de Hooke*, considerando as deformações em cada direção e o módulo de elasticidade (*E*) do elemento elástico. Com as tensões normais e as forças consideradas no projeto, foi possível determinar a área da seção do elemento elástico (nervuras) em cada direção. O regime de trabalho da célula de carga foi determinado pela razão entre as tensões normais e o limite de escoamento do material (σ_e). Para os níveis de força considerados no projeto, a célula opera em 32% da tensão limite de escoamento, o que configura trabalhar no campo elástico do material.

Como etapa final do dimensionamento do dinamômetro, adotou-se a hipótese de a célula de carga estar sujeita ao dobro do carregamento máximo especificado nos dados do projeto. Recalculando as novas tensões normais, considerando as forças em cada direção duplicadas e as respectivas áreas iniciais, foi possível constatar que o regime de trabalho nesse caso extremo ainda encontra-se no regime elástico do material, em nada comprometendo o desempenho da célula de carga. Novamente, no caso menos conservativo, o campo de trabalho permaneceu em 77% do limite de escoamento do elemento elástico.

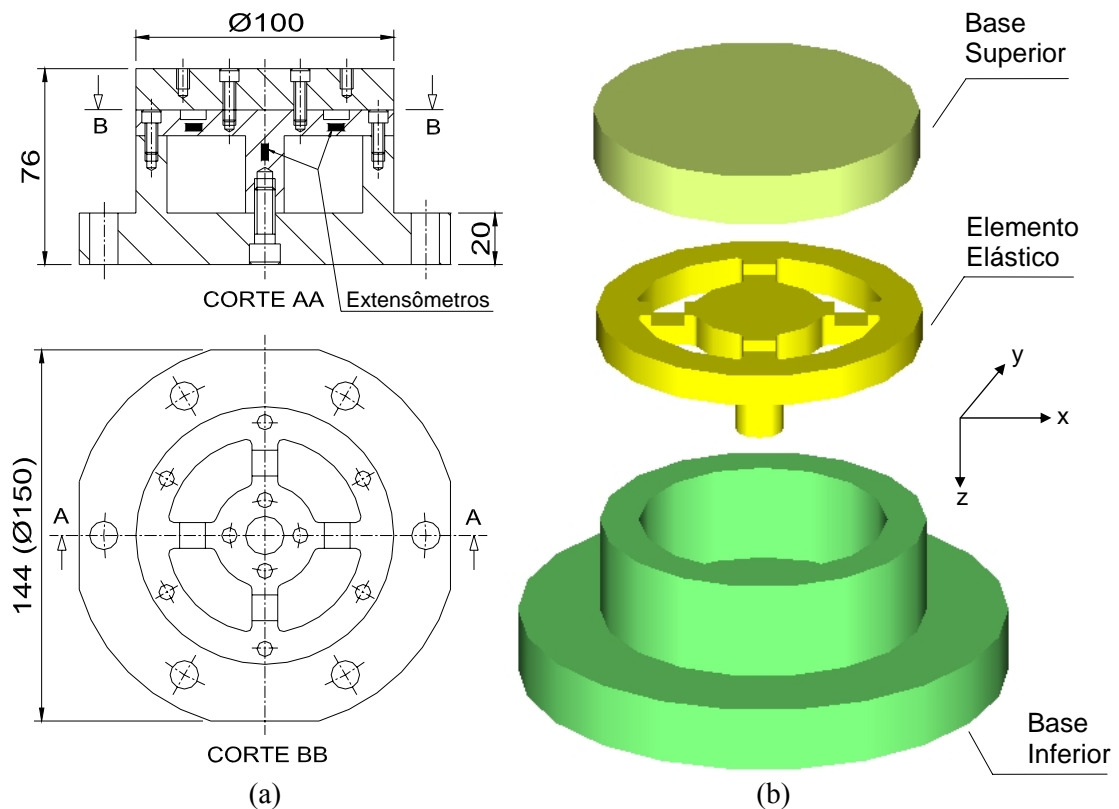


Figura 3 - (a) Vistas ortográficas e (b) perspectiva explodida do dinamômetro.

Conclui-se que foi possível projetar com certa simplicidade e segurança uma célula de carga para aplicação em operações de fresamento, considerando o método da resistência dos materiais e suas propriedades mecânicas. De um modo geral, para melhorar a eficiência de projetos, deve-se buscar sempre conciliar materiais estruturais alternativos à fabricação facilitada. Este trabalho encontra-se em andamento e tem como próxima etapa a usinagem das peças, colagem dos *strain-gages* e testes de aquisição de sinais.

Referências Bibliográficas

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 2ª Edição São Paulo: ArtLiber Editora, 2000. 248 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1ª Edição São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970. 754 p.

RODRIGUES, A. R. **Ensaio Charpy Instrumentado - Determinação da Tenacidade à Fratura Dinâmica de Materiais Metálicos**. 2001. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2001.