

PROJETO DE UM DINAMÔMETRO EXTENSIONOMÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE FORÇAS DE USINAGEM NO TORNEAMENTO.

Rodolfo da Silva Manera, Alessandro Roger Rodrigues, Thiago Bassan Setala. - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira.

Conforme afirmam Diniz, Marcondes e Coppini (2000), conhecer o comportamento e as magnitudes dos esforços de corte nos processos de usinagem é de fundamental importância, pois eles afetam a potência necessária ao corte, a capacidade de obtenção de tolerâncias apertadas, a temperatura de corte e o desgaste da ferramenta. Machado e Silva (1999), adicionalmente, comentam que a força de usinagem pode ser a responsável direta pelo colapso da ferramenta por deformação plástica da aresta, além de influenciar no desenvolvimento de outros mecanismos e processos de desgaste. Ainda, a força de usinagem pode também representar um bom índice de usinabilidade, além de poder ser usada como parâmetro para controle adaptativo do processo.

As forças de usinagem são consideradas como uma reação da peça sobre a ferramenta. As principais componentes da força de usinagem são: força de corte (F_c), de avanço (F_f) e de profundidade ou passiva (F_p). A força de corte age no plano de trabalho, que é perpendicular ao plano de referência da ferramenta (plano da base da ferramenta). A força de avanço atua no sentido contrário ao do movimento de avanço, sendo mais diretamente responsável pelo acabamento superficial. A força passiva é responsável pela deflexão elástica da peça e da ferramenta durante o corte e, por isto, é responsável pela dificuldade de obtenção de tolerâncias de forma e dimensões apertadas (FERRARESI, 1970). A força de usinagem nada mais é que a soma vetorial dessas três componentes principais de força. A Figura 1 ilustra as definições acima na forma de um desenho.

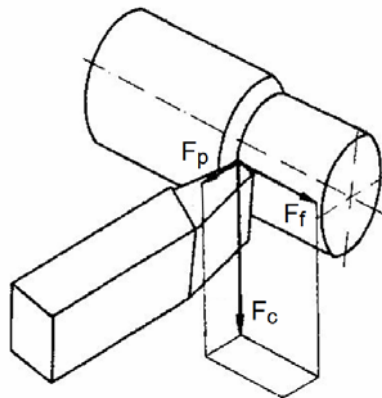


Figura 1 - Representação das forças de usinagem na ponta da ferramenta de torneamento.

No ramo metal-mecânico, seja na indústria ou em institutos de pesquisa, as forças de usinagem geralmente são medidas recorrendo-se a células de carga, mais comumente denominadas como dinamômetros. Basicamente, os princípios de medição empregam extensômetros elétricos de resistência ou transdutores piezelétricos. Apesar da excelente resposta dinâmica, os dinamômetros piezelétricos são muito caros e os dinamômetros extensométricos representam uma boa alternativa para minimizar os custos, sem comprometimento dos resultados.

O transdutor dos dinamômetros extensométricos, como o próprio nome sugere, é o extensômetro. Trata-se de um elemento sensível para o qual pequenas variações de dimensões correspondem a pequenas variações, diretamente proporcionais, de sua resistência elétrica. O aproveitamento dessa característica permite a avaliação da deformação sofrida pelo extensômetro mediante a medida da variação de sua resistência elétrica (RODRIGUES, 2001).

Em qualquer tipo de aplicação, a base da extensometria consiste na medida da deformação local de uma peça ou componente. A técnica baseia-se na fixação do extensômetro no local a ser medido, de modo que ele se distenda e contraia solidariamente ao corpo em análise, pois a deformação do extensômetro é diretamente associada à deformação do corpo estudado. Dentre as principais características da aplicação de extensômetros elétricos de resistência na medição de deformações,

pode-se citar a resolução de medida infinita, grande precisão, excelente linearidade, excelente resposta a sinais dinâmicos, facilidade de instalação, baixo custo, possibilidade de tomada de sinais à distância e, finalmente, proteção contra meios agressivos. O presente trabalho apresenta resultados iniciais do projeto de uma célula de carga (dinamômetro) para medição das forças de usinagem no processo de torneamento.

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 3 *strain-gages*, um em cada direção dos esforços de usinagem. 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 3000 N no plano *x-y* e 6000 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: o suporte (peças 2 e 3) para fixação na torre ou castelo do torno, o elemento elástico (peça 5), onde os sensores são colados para captura dos sinais e, finalmente, a base para fixação do suporte da ferramenta (peça 4). Com o propósito de universalizar o uso do dinamômetro, permitindo sua aplicação em qualquer tipo de torno mecânico, foi elaborado um sistema modular de fácil montagem e desmontagem capaz de atender a essa característica. O sistema possibilita a troca de módulos do conjunto e o ajuste da altura da ferramenta para se adequar ao eixo da peça ou da contra-ponta. A Figura 2 mostra o desenho técnico bidimensional com algumas medidas básicas e uma vista em perspectiva para melhor visualização da concepção do projeto.

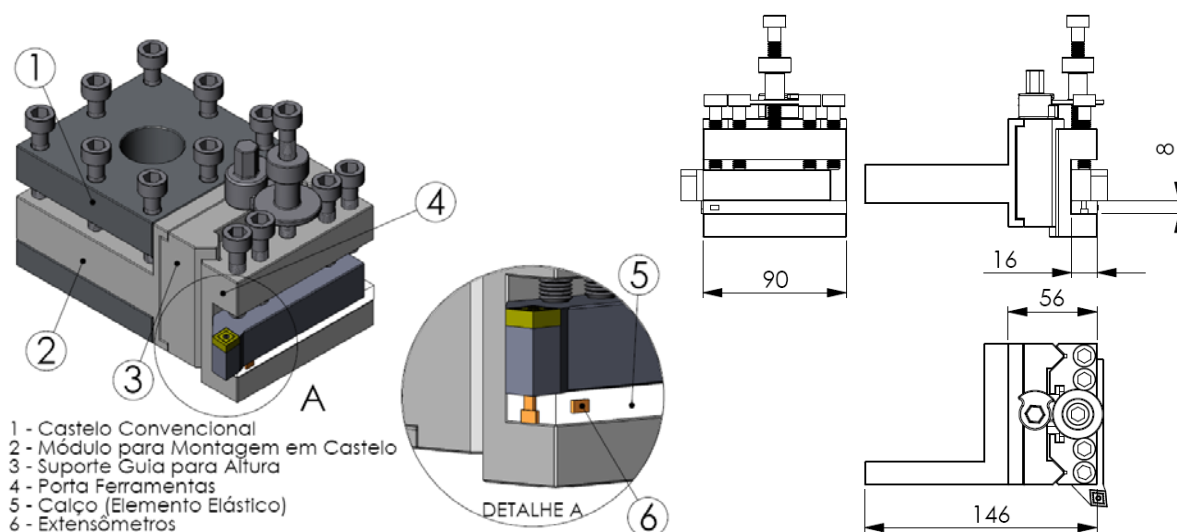


Figura 2 - Vistas ortogonais do dinamômetro modular para uso em torno horizontal.

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 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 16% 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 32% do limite de escoamento do elemento elástico.

Conclui-se que foi possível projetar com certa simplicidade e segurança uma célula de carga para aplicação em operações de torneamento, 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.

MACHADO, Á. R.; SILVA, M. B. da. **Usinagem dos Metais**. 4. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 224 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.