

DETERMINAÇÃO DE ERROS E DESVIOS DA INSTRUMENTAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE DESGASTE TRIBÔMETRO TIPO PINO SOBRE DISCO

RHAFEL BEPPLER, ALEXANDRE GALIOTTO, ALDO ZANELLA JUNIOR, ADRIANO ALBINO MACHADO

Laboratório de ensaios dos materiais, Departamento de ensino, pesquisa e extensão, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus
Rua dos Imigrantes, 445 - Bairro Rau - CEP 89254-430 - Jaraguá do Sul - SC
E-mails: rhafa_beppler@hotmail.com, galiotto@ifsc.edu.br, azanella@ifsc.edu.br, amachado@ifsc.edu.br

Abstract— This work aims to describe the instrumentation of an equipment to abrasion experiment – tribometer pin-on-disk. For that kind of equipment, a load is applied over pin with spherical tip in contact with a rotating disk with a certain speed. For such instrumentation to be possible, it was sought similar equipments and instrumentation that are being used. Also it's important meet Standard G99-04 that enables abrasion experiment elaboration. To determine resultant abrasion strength of pair tribo contact (pin/disk), it was used a single-point load cell and data collect is performed by digital indicator that does conversion of electrical signal emitted by extensometers of load cell and transmitted to computer by data collector software RS232 Data Logger. Such data are verified and the reading collect rate of strength per second is determined, to set the equipment resolution. Also it's determined the slip and speed of motor controlled by frequency inverter. After experiments, it was determined that equipment comply with current Standard of experiment and it's able to realize abrasion experiments.

Keywords— Instrumentation, abrasion experiment, tribometer, load cell, data collector software, pin-on-disk.

Resumo— O presente trabalho tem por objetivo descrever a instrumentação de um equipamento para ensaio de desgaste – tribômetro pino sobre disco. Neste tipo de equipamento, uma carga é aplicada sobre um pino com ponteira esférica que está em contato com um disco que gira com determinada velocidade. Para tal instrumentação ser possível, buscou-se na literatura instrumentação já utilizada em equipamentos semelhantes. Também é importante atender a norma G99-04 que viabiliza a elaboração do ensaio de desgaste. Para a determinação da força de atrito resultante do tribocontato do par utilizado (pino/disco), foi utilizada uma célula de carga do tipo single-point e a coleta desses dados é realizada pelo indicador digital que faz a conversão do sinal elétrico emitido pelos extensômetros da célula de carga, e transmitida ao computador por meio de software coletor de dados RS232 Data Logger. Tais dados são verificados e determinada a taxa de coleta de leituras de força por segundo, para determinar a resolução do equipamento. Também é determinado o escorregamento do motor e a verificação da rotação controlada pelo inversor de frequência. Após os ensaios, determinou-se que o equipamento atende a norma vigente do ensaio e está apto a realização de ensaios de desgaste.

Palavras-chave— Instrumentação, ensaio de desgaste, tribômetro, célula de carga, software coletor de dados, pino sobre disco.

1 Introdução

O estudo tribológico é um dos campos mais crescentes na pesquisa em engenharia de superfície. Divide-se, essencialmente, em duas áreas de investigação, que estão intimamente interligadas, sendo elas o estudo do desgaste da superfície do material e a determinação do coeficiente de atrito entre os corpos envolvidos (Hutchings, 1992). Existem diversos equipamentos utilizados para a realização do ensaio tribológico, divididos essencialmente em ensaio linear e ensaio rotativo. O primeiro consiste no arraste linear do pino sobre a superfície do material ensaiado, já o segundo, o arraste ocorre com trajetória circular (Martins, 2013). O ensaio de desgaste apresenta a possibilidade de obtenção individual de alguns dados referentes a determinação do atrito, tais como força de atrito, coeficiente de atrito e taxa de desgaste.

Na construção do tribômetro, alguns equipamentos e acessórios são essenciais para a obtenção desses dados, seguindo o estabelecido pela norma G99-04: 2004, a qual estabelece variáveis que devem ser controladas durante o ensaio, como a velocidade de ensaio, o comprimento de pista e a carga aplicada. Para

isso, no projeto de construção do equipamento é definida a utilização de dispositivos responsáveis pela coleta de dados e comando dos parâmetros do ensaio (Castro *et al*, 2015).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar brevemente a construção mecânica do equipamento tribológico tipo esfera sobre disco e apresentar a instrumentação, aquisição dos dados e operação do equipamento construído.

2 Construção e instrumentação do equipamento

2.1 Construção mecânica

O ensaio tribológico tipo pino sobre disco consiste em aplicar uma carga, sobre uma ponteira esférica, com diâmetro e material conhecidos, estática que permanece em contato com o material ensaiado. Este é preso em um dispositivo que permanecerá em movimento, conforme apresentado na Figura 1 (Castro *et al*, 2015).

No projeto e construção, optou-se pelo acoplamento de uma célula de carga junto ao pino suporte da esfera. Sua localização se deve ao fato de que não registrará deformação do equipamento, mantendo a in-

dicação da força resultante sobre a ponteira. Tal dispositivo é responsável por registrar a força de atrito gerada entre os dois corpos.



Figura 1. Sistema esfera sobre disco.

Para a determinação do diâmetro da pista de desgaste, foi utilizado um fuso responsável pelo deslocamento do carro sobre o guia linear, objetivando o posicionamento da ponteira sobre o disco a ser ensaiado. Outro ponto de movimentação importante é o ajuste da altura da ponteira sobre o disco, no qual ela deve permanecer perpendicular em relação à superfície do disco. Tal movimento é garantido pelo deslocamento do fuso de esferas horizontal, no qual guiará toda a mesa que suporta o carro da ponteira ao longo das colunas, minimizando a movimentação indesejada e garantindo a correta posição da ponteira sobre o disco.

O movimento de rotação da amostra é garantido pelo acoplamento posicionado sobre o motor, no qual encontra-se uma placa de três castanhas para o posicionamento centrado da amostra. O dispositivo é observado na Figura 2.

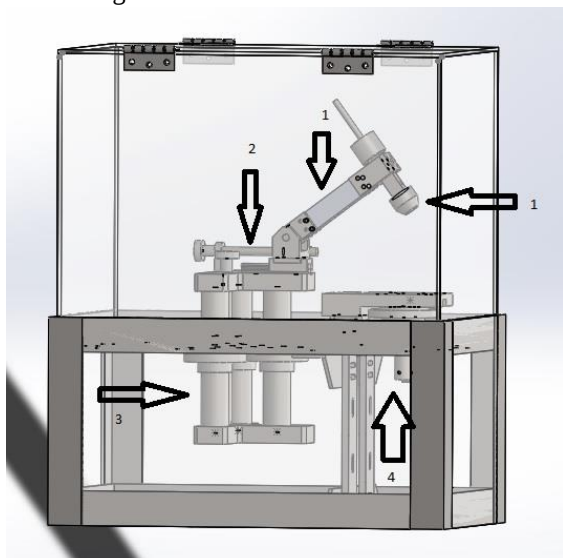


Figura 2. Montagem mecânica do equipamento. 1- ponteira e suporte célula de carga, 2- fuso de movimentação horizontal, 3- colunamento para movimentação vertical, 4- acoplamento para o motor.

Após a construção mecânica do equipamento, é necessária a instrumentação do equipamento.

2.2 Instrumentação

O ensaio padrão da norma G99-04: 2004 prevê a utilização de cargas conhecidas e padronizadas no ensaio. A carga mais comum de ser utilizada é de 10 N. Com base nisso, foi selecionada a célula de carga a ser utilizada, a mesma com capacidade máxima de 3 kgf e do tipo *single point*, na qual não é sensível a momentos. Tal seleção se deu pelo fato de haver leituras de cargas relativamente baixas, melhorando assim a resolução e diminuição do erro de leitura (Balbinot; Brusamarello, 2011).

Para a movimentação do acoplamento responsável por centrar a amostra, foi selecionado um motor trifásico com 0,25 kW de potência, o suficiente para a correta movimentação da amostra. Pelo fato de este motor trabalhar com rotação única e sabendo da necessidade do controle da velocidade de ensaio, o qual é determinado pelo diâmetro da pista na amostra, tem-se a necessidade da alteração da rotação final do motor. Para isso ser possível, sem a limitação de diâmetros, optou-se pela não utilização de redutores mecânicos, mas sim pela utilização de um inversor de frequência, no qual é realizado o controle mais apurado da rotação do motor. O inversor de frequência controla a rotação do motor de indução variando sua frequência a partir do chaveamento de uma tensão contínua, retificada da rede trifásica. Também se deve levar em consideração o fato de que, com o uso do inversor de frequência, pode-se realizar a programação e operação através de comandos simples ou então por meio de automação (Franchi, 2009).

Juntamente com o controle da velocidade do ensaio, deve-se realizar o controle da distância percorrida, até atingir o comprimento final de pista. Para isso, utilizou-se um contador de voltas interligado à um sensor indutivo PNP com diâmetro 8 mm. Para garantir uma melhor resolução do comprimento de pista, foram utilizados três parafusos em ressalto no corpo do conjunto, detectáveis pelo sensor.

Para caso de emergência, foi acoplada uma botoeira de emergência e uma botoeira com chaveamento de liga/desliga, garantindo o não acionamento acidental do equipamento e para garantir a retirada de energia do equipamento quando em desuso, foi utilizado um disjuntor trifásico. A relação final da instrumentação utilizada é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes elétricos utilizados.

Equipamento	Descrição
Motor de indução	0,33 CV, 220/380 V
Célula de carga	3 kgf, PWZL3
Inversor de frequência	CFW 09
Sensor indutivo	PNP, Ø8 mm, Sn 2mm
Contador de voltas	CDL339N-90~240VCA
Botoeira	Emergência
Chave acionamento	Liga/desliga
Disjuntor trifásico	400V 25 ^a
Indicador digital de peso	MK 5030, com saída RS232

2.4 Aquisição dos dados

Para a aquisição dos dados gerados pela célula de carga, foi utilizado um transdutor de força embutido no indicador digital de pesagem, que realiza a amostragem e tratamento do sinal do transdutor. Amostragem é o processo de captura de um sinal que representa o valor medido por um intervalo de tempo, que é o período da amostragem, realizado por um circuito chamado *sample-and-hold* (Lowenstein, 1999). Tal indicador conta ainda com saída no formato RS232, responsável pela transferência de dados para um dispositivo coletor de dados.

Como o indicador é responsável apenas pela conversão dos sinais fornecidos pela célula de carga e sua indicação em tempo real, necessitou-se de um *software* coletor de dados para a análise dos valores da força de atrito gerada. Para isso, utilizando a porta serial RS232 de um microcomputador, foi realizada a comunicação entre o indicador e o microcomputador. Entretanto, dificilmente um software nativo é capaz de interpretar os dados fornecidos e coletar. Para isso, buscou-se um software gratuito para tal finalidade, encontrando o software *RS 232 Data Logger freeware versão 2.7*.

Após a coleta dos dados de força é possível exportar os dados em formato de texto para tratamento posterior. Esse tratamento dos dados é realizado em planilha eletrônica, possibilitando a geração do gráfico de forças de atrito referentes ao material ensaiado.

3 Validação dos resultados

Com o equipamento já montado e funcionando, foram realizados alguns testes e coleta de informações para a calibração e conferência dos parâmetros de ensaios.

Para começo, devemos considerar que, segundo Franchi (Franchi, 2009), quando um motor gira fora de sua velocidade síncrona, o enrolamento do rotor corta as linhas de força magnética do campo, circulando correntes induzidas. Consequentemente, quando se aplicam cargas maiores no motor, a rotação diminui, alterando o valor da velocidade do ensaio. Tal diferença é conhecida como escorregamento do motor, que neste caso é expresso pela equação 1.

$$S(\%) = 100 * (n_s - n) / n_s \quad (1)$$

$$S(\%) = 100 * (1800 - 1710) / 1800$$

$$S(\%) = 5\%$$

Onde S = Escorregamento.

n_s = velocidade síncrona do motor = 1800 RPM para o motor em questão.

n = velocidade no rotor = 1710 RPM para o motor em questão.

Logo, quando se define o parâmetro da rotação, deve-se prever o escorregamento, incrementando tal valor. Em ensaio realizado, os valores obtidos foram:

Programado: 169 RPM

Média de leitura: 161,4 RPM

$$S = 100 - \left(\frac{161,4}{169} * 100 \right)$$

$$S = 4,497 \%$$

Para o ensaio realizado, o escorregamento encontrado foi de 4,497%, que representa o escorregamento do motor em questão, o que indica que o equipamento está dentro do especificado pela literatura e que realmente este valor deve ser considerado, logo, tal valor deve ser acrescido ao valor da rotação calculada para o ensaio.

Logo após a definição do escorregamento real encontrado no motor, foi realizado o levantamento da curva de oscilação da rotação do motor. Tal informação é relevante para determinar a variação da velocidade ao longo do ensaio e monitorar a oscilação da rotação durante o ensaio.

Neste quesito, os valores encontrados oscilaram em torno da média já citada, com desvio padrão de 1,3 RPM. Como observado, o ensaio apresenta variação na velocidade, porém tal fator pode ser desconsiderado já que o término do ensaio é determinado pelo comprimento de pista e não pelo tempo de ensaio. Outro fator pelo qual podemos desconsiderar é a variação em torno da média, ou seja, oscilando entre valores acima da média e abaixo, compensando a velocidade durante o ensaio. A norma G99-04: 2004 afirma que a variação da velocidade do ensaio aceitável é de $\pm 1\%$, logo tal valor permanece dentro desta faixa, com valor de $\pm 0,77\%$.

O terceiro item a ser observado e monitorado para garantir a efetividade do ensaio é o tempo de parada que o equipamento apresenta, ou seja, qual a distância percorrida após atingir o comprimento de pista especificado e quantificar sua importância no resultado final. Para isso, foi monitorado o tempo de frenagem do motor e quantidade de voltas que excediam ao ensaio. Os valores observados, no ensaio teste de 169 RPM, apontaram um tempo de uma volta para a parada total do motor, indicando um tempo de 0,36 segundo. Tal fator também pode ser desconsiderado no ensaio, visto que, conforme o raio de pista do ensaio, essa distância não inviabiliza ou desqualifica o resultado final do ensaio.

O último parâmetro monitorado é a aquisição de dados por meio do software RS232 Data Logger. Para isso, foi feito o levantamento da taxa de coleta de dados por segundo, ou seja, quantas leituras de força são realizadas a cada segundo com o objetivo de determinar a resolução de leitura do equipamento.

No ensaio teste realizado, foi estabelecido 1124 leituras no contador de voltas, o que equivale a 374,67 rotações na placa. Foram coletadas 1443 leituras de força no software num tempo de 145 segundos. Calculando a taxa de leituras por segundo, conclui-se que o software é capaz de coletar aproximadamente 9,95 leituras por segundo de ensaio. Tal valor atende ao esperado do ensaio tribológico, já que a variação na força é gradativa.

O equipamento devidamente montado e equipado pode ser visto na figura 3.



Figura 3. Equipamento de ensaio tribológico.

4 Conclusão

Após a construção mecânica do equipamento e sua instrumentação, foi possível realizar as medições e determinação dos erros e desvios que os parâmetros do equipamento apresentam. Quanto a instrumentação do equipamento, todos os dispositivos selecionados atenderam ao especificado. Para o acionamento do motor, entretanto, deve-se prever o escorregamento de 5% na determinação da rotação do ensaio. Tal fator de correção compensará a diferença entre o valor programado e o valor real de leitura na saída do motor. Quanto a oscilação da rotação durante o ensaio, os valores registrados atendem a norma G99:04, garantindo assim a conformidade do ensaio. Também foi constatado que o motor apresenta certo tempo de desaceleração, entretanto tal valor não interfere significativamente no comprimento final de pista. Quanto ao quesito de aquisição de dados, o software selecionado, por ser de caráter gratuito e aberto ao público, atende as expectativas com uma taxa de coleta de dados de 9,95 leituras por segundo.

Apesar do equipamento ser testado individualmente para cada dispositivo de instrumentação utilizado, os resultados indicam que o equipamento está apto para a realização de ensaios completos de desgaste, os quais serão conduzidos posteriormente com o objetivo de validação do equipamento.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio e ajuda dos técnicos de laboratório do IFSC campus Geraldo Werninghaus pelo apoio e ajuda na execução do equipamento, agradecemos também ao campus pela utilização do espaço e maquinário utilizados.

Referências Bibliográficas

- American Society For Testing Materials, (2004) ASTM G99-04: Method For Wear Testing With A Pin On Disc Apparatus. West Conshohocken, Pa.
- Balbinot, Alexandre; Brusamarello, Valner João (2011). Instrumentação E Fundamentos De Medidas: Volume 2. 2. Ed. Rio De Janeiro: Ltc. 492 p.
- Castro, Richard Et Al. (2015). Desenvolvimento Do Sistema De Aquisição E Supervisão De Dados Para Um Tribômetro Rotativo Do Tipo Pino Sobre Disco. Revista Ciência E Tecnologia, São Paulo, V. 18, N. 32, p.1-8.
- Franchi, Claiton Moro (2009). Inversores De Frequência: Engenharia Elétrica. 2. Ed. São Paulo: Érica. 192 p.
- Hutchings, Ian M. (1992). Tribology: Friction And Wear Of Engineering Materials. London: Arnold, 278 p.
- Loewenstein, E. B. (1999). Analog-To-Digital Converters. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Washington: CRC Press, 2587 p.
- Martins, J. P. L. (2013) Estudo, Concepção, Desenvolvimento E Construção De Um Tribômetro Linear Para Ensaios Em Superfícies Flexíveis. Dissertação De Mestrado, Universidade Do Minho – Portugal, 112p.