

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CILINDROS EM BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

Karina Alves Fernandes, FEMEC-UFU, karina_alves88@yahoo.com.br

José Eduardo Silveira Leal, FEMEC-UFU, zeduardoleal@yahoo.com.br

Rosenda Valdés Arencibia, FEMEC-UFU, arvaldes@mecanica.ufu.br

Luciano José Arantes, FEMEC-UFU, ljarantes@femec.ufu.br

Resumo: Este trabalho tem como objetivo efetuar o controle geométrico e dimensional do cilindro do bloco de um compressor hermético após o processo de brunimento convencional. O controle geométrico consiste na verificação do desvio de cilindridade e do acabamento superficial, enquanto no controle dimensional foi medido o diâmetro do cilindro. A metodologia foi dividida em: medição do diâmetro, do desvio de cilindridade e dos parâmetros de rugosidade (R_a , R_q , R_z e R_{sk}) após o processo de brunimento convencional; avaliação da incerteza de medição utilizando o método de Monte Carlo e análise e discussão dos resultados. Ao finalizar o trabalho é possível concluir que os cilindros usinados pelo processo de brunimento convencional apresentam perfis de rugosidade caracterizados pela presença de picos finos e vales estreitos isolados na superfície do cilindro, sendo necessário efetuar uma operação de usinagem posterior para melhorar o acabamento superficial.

Palavras chave: compressores herméticos, brunimento flexível, tolerâncias geométricas e dimensionais e incerteza de medição.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos sistemas de refrigeração se baseia no princípio de compressão e expansão de fluido com mudança de fase. Dentro desses sistemas o compressor tem papel destacado, por ser o elemento ativo que força a circulação do fluido (Stoecker; Saiz Jabardo, 2002). No entanto, para se obter melhor desempenho do compressor é importante que, mecanicamente, as peças com movimento relativo apresentem um adequado ajuste de geometrias, evitando vazamentos, desgastes e minimizando atritos, que podem conduzir a uma perda de eficiência (Rosa, 2012).

Neste sentido, o par formado pelo cilindro e o pistão presente nos compressores recíprocos alternativos (Fig. 1a) merece destaque, uma vez que é responsável por comprimir o fluido refrigerante, e falhas no acoplamento podem comprometer o funcionamento do compressor, podendo até ocasionar o trancamento do mesmo. O adequado funcionamento deste conjunto requer elevada exatidão dimensional e geométrica dos seus componentes, e quando não são alcançadas muitas vezes dificultam a montagem, além de provocar o aparecimento de esforços desgastantes (Rosa, 2012).

Um dos requisitos para o adequado funcionamento do par cilindro-pistão (Fig. 1b) é a ausência de contato metal-metal. Entre tanto, a presença de picos isolados no perfil de rugosidade, mesmo quando estes aparecem ao acaso, podem comprometer o atendimento a esta exigência.

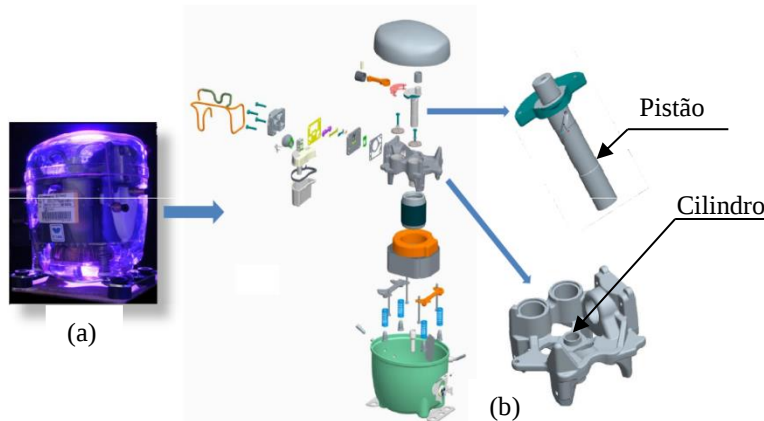


Figura 1. Compressor recíproco alternativo hermético (a) e o cilindro e o pistão (b) (EMBRACO, 2012).

Assim sendo, a Embraco S/A (Whirlpool – Unidade Compressores) percebeu a necessidade de melhorar, principalmente, a rugosidade superficial do cilindro de seus compressores herméticos visando otimizar o desempenho deste último. Neste contexto, surgiu a proposta do presente trabalho, que tem como objetivo principal avaliar a qualidade dimensional e geométrica do cilindro de blocos de compressores herméticos submetidos ao processo de brunimento flexível utilizando-se uma fresadora CNC.

2. METODOLOGIA

O controle dimensional e geométrico do cilindro do bloco de um compressor hermético (Fig. 2a) foi efetuado após a operação de brunimento convencional. Para medição do diâmetro do cilindro e do desvio de cilindridade foi utilizada uma máquina de medir a três coordenadas do tipo Ponte Móvel (Fig. 2b), com resolução de 0,001 mm e capacidade de medição de 400 mm, 400 mm e 300 mm para os eixos X, Y e Z, respectivamente. Esta máquina possui certificado de calibração número 07081/13.

Considerando as dimensões do cilindro a medição do diâmetro foi efetuada em uma única seção da peça, por sua vez, na medição do desvio de cilindridade foram consideradas três seções. Em todas as seções foram apalpados 20 pontos e três ciclos de medição para ambos os mensurados foram executados. Para armazenamento e processamento dos dados foi utilizado o programa dedicado GEOPAK-Win.

A rugosidade foi medida por meio de um rugosímetro portátil, eletro-mecânico, digital, modelo TIME TR200 da Homis (Fig. 2c) e para coleta dos dados foi utilizado o programa computacional TimeSurf For TR200 V1.4, fornecido pelo fabricante do respectivo rugosímetro. A incerteza expandida associada à calibração do rugosímetro é de 0,060 μm com fator de abrangência igual a 2,57 para 5,69 graus de liberdade e 95% de probabilidade de abrangência.

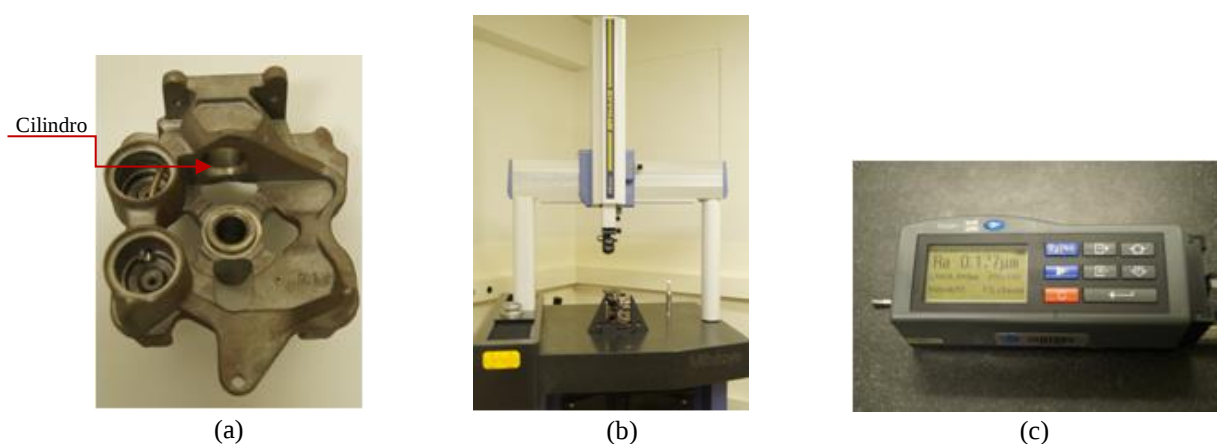


Figura 2. a: Bloco do compressor hermético (EMBRACO, 2012), b: Máquina de medir a três coordenadas do tipo Ponte Móvel e c: Rugosímetro portátil, modelo TR200 da Homis.

A rugosidade da peça foi analisada a partir dos valores dos seguintes parâmetros: R_a (Desvio Aritmético Médio do Perfil); R_q (Desvio Aritmético Quadrático do Perfil); R_z (Altura Máxima do Perfil) e R_{sk} (Fator de Assimetria do Perfil - Skewness). Ainda, foram obtidos a curva de *Abbott Firestone* e o perfil de rugosidade. O comprimento de amostragem (*cut-off*) foi de 0,8 mm. Cada parâmetro de rugosidade foi medido três vezes.

Foi avaliada a incerteza de medição de todos os mensurandos, sendo que para o diâmetro e o desvio de cilindridade foi utilizada a metodologia proposta no ISO TAG 4WG-3 (2008), enquanto que para a rugosidade foi aplicado o Método de Monte Carlo conforme recomenda INMETRO (2008).

O rugosímetro e a peça avaliada foram posicionados sobre um desempenho para minimizar o efeito das vibrações transmitidas pelo solo. Ainda, a temperatura ambiente durante a medição foi de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

2.5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os valores de diâmetro, de desvio de cilindridade, de R_a , R_q , R_z e R_{sk} fornecidos durante a medição do cilindro do bloco de um compressor hermético, a média aritmética e o desvio-padrão experimental.

Tabela 1. Valores de diâmetro, desvio de cilindridade, de R_a , R_q , R_z e R_{sk}

	Diâmetro (mm)	Desvio de Cilindridade (mm)	R_a (μm)	R_q (μm)	R_z (μm)	R_{sk}
Indicação 1	22,505	0,0441	0,193	0,258	1,838	0,099
Indicação 2	22,504	0,0442	0,182	0,246	1,793	-0,317
Indicação 3	22,504	0,0441	0,184	0,252	1,983	0,214
Média ($\bar{x}$)	22,504	0,0441	0,186	0,252	1,871	-0,001
Desvio-Padrão (s)	0,0006	0,0001	0,005	0,005	0,081	0,228

Conforme a Tabela 1 a peça exibe valores médios de diâmetro de 22,504 mm, enquanto que o desvio de cilindricidade é de 0,044 mm. Em ambos os casos a incerteza expandida é de 0,005 mm para uma probabilidade de abrangência de 95% e k igual a 4,30. A variável que mais contribuiu para a incerteza final foi o erro de apalpamento, seguida da incerteza associada à calibração da máquina.

Para a rugosidade foram observados valores médios de 0,158 μm , 0,222 μm , 1,732 μm e -1,210 para os parâmetros R_a , R_q , R_z e R_{sk} respectivamente. Inicialmente constatam-se valores pequenos de desvio-padrão para os parâmetros R_a e R_q evidenciando que os resultados obtidos são precisos. O valor de desvio-padrão de 0,081 μm pode ser justificado pela presença de picos e vales isolados no perfil de rugosidade, conforme mostra a Fig. 3.

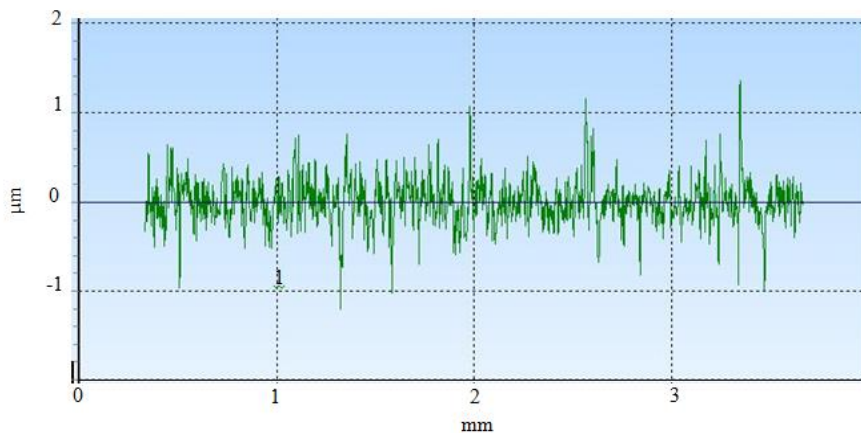


Figura 3. Perfil de perfil de rugosidade após o brunimento convencional para a medição 1.

A Figura 4 mostra a curva de *Abbott Firestone* obtida para a primeira medição. Verificou-se por meio da análise da curva que a maior parcela do material está concentrada na região inferior do perfil. Este fato é comprovado por meio do valor negativo observado para o parâmetro R_{sk} (-1,210).

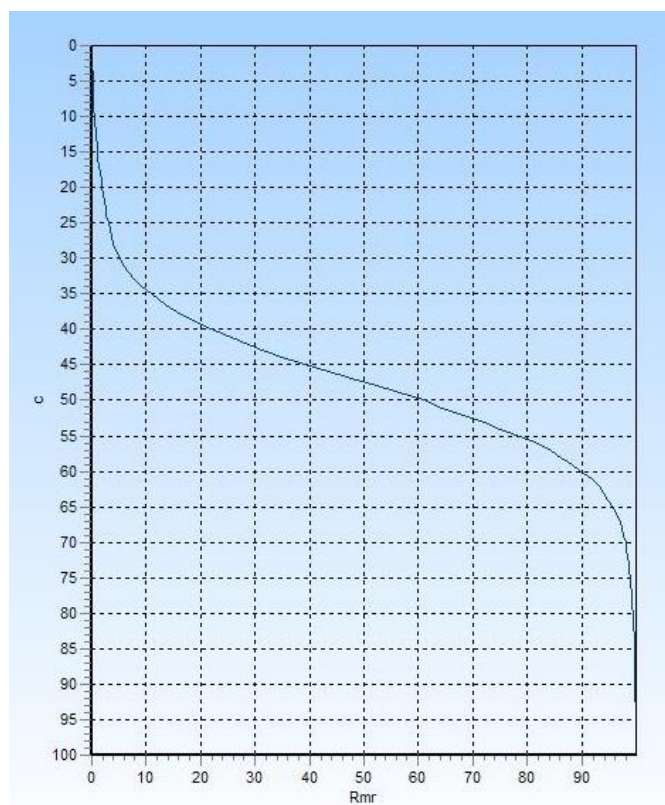


Figura 4. Curva de *Abbott Firestone* obtida para a primeira medição

Considerando que um dos requisitos para o adequado funcionamento do par cilindro-pistão é a ausência de contato metal-metal recomenda-se a aplicação de um processo de usinagem posterior visando à eliminação dos picos mais pronunciados do perfil de rugosidade, mesmo quando eles aparecem ao acaso. Neste sentido o brunimento fléxivel é considerado uma alternativa visto que permite a eliminação desses picos, com remoção mínima de material e, consequentemente pouca variação dimensional.

A Figura 5 mostra o histograma obtido para o parâmetro Ra durante a avaliação da incerteza de medição utilizando o método de Monte Carlo. Pode-se observar que a variável de saída possui um comportamento aproximadamente normal e que a distribuição é simétrica. Neste caso, o coeficiente de assimetria (*Skewness*) é de 0,0056. Assim sendo, a incerteza expandida associada à medição foi determinada como sendo duas vezes o desvio-padrão dos valores do mensurando, desta forma, seu valor é de 0,022 μm para k igual a 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45%.

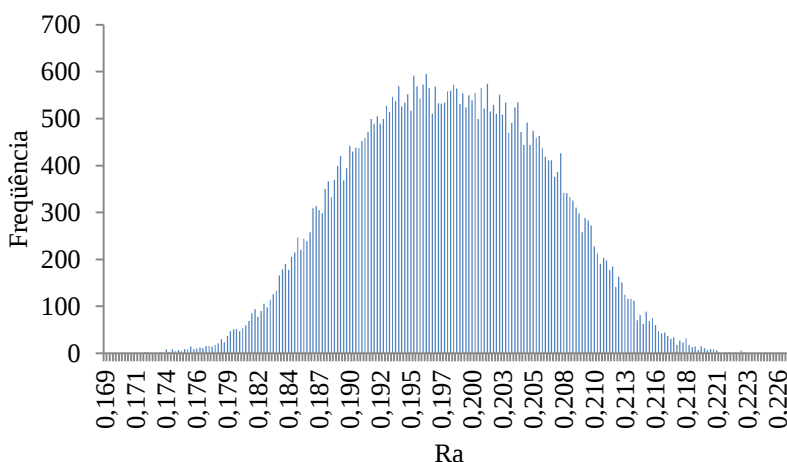


Figura 5. Histograma da FDP de Ra .

Histogramas similares foram encontrados para todos os parâmetros e, portanto não são aqui apresetados. A incerteza expandida associada à medição do Rq , Rz e Rsk foi de 0,042 μm , 0,490 μm e 1,987 μm , respectivamente, sendo que a maior incerteza foi observada para o parâmetro Rsk devido à maior variabilidade das leituras.

3. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a superfície do cilindro usinado pelo processo de brunimento convencional, apresenta um perfil de rugosidade caracterizado pela presença de picos finos e vales estreitos e isolados, sendo necessário efetuar uma usinagem posterior para melhorar o acabamento superficial. Com este objetivo recomenda-se o processo de brunimento flexível visando diminuir a altura dos picos do perfil de rugosidade, com remoção mínima de material e, consequentemente pouca variação dimensional.

4. REFERÊNCIAS

- EMBRACO, 1990, “Compressores Herméticos – Aspectos Gerais”, Material de Treinamento, Joinville.
- EMBRACO, 2012, “Desafios da Engenharia Mecânica: Uma Visão Industrial”, Joinville, 36p.
- INMETRO, “A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo”.
- ISO TAG 4/WG 3, 2008, “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, Geneva Switzerland, 131p.
- Rosa, V. A. O., 2012 “Investigação da Operação de Alargamento dos Furos Usinados em Pistões de Ferro-Carbono Sinterizado”, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia, 122 p.
- Stoecker, W.F., Saiz Jabardo, J.M., 2002, “Refrigeração Industrial”, 2 ed., São Paulo: Edgard Blücher, 371p.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.