

AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_{sk} DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMETICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL

Karina Alves Fernandes, FEMEC-UFU, karina_alves88@yahoo.com.br
Rosenda Valdes Arencibia, FEMEC-UFU, arvaldes@mecanica.ufu.br
Luciano José Arantes, FEMEC-UFU, ljarantes@femec.ufu.br

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo avaliar a rugosidade de cilindros de blocos de compressores herméticos usinados pelo processo de brunimento convencional e posteriormente pelo flexível. Para isto foram obtidos os perfis efetivos, a curva de Abbott-Firestone, o fator de assimetria do perfil (R_{sk}) e estimada a incerteza de medição. O processo de medição foi efetuado utilizando um rugosímetro eletromecânico e a incerteza de medição foi estimada utilizando o Método de Monte Carlo. De acordo com os resultados, o processo de brunimento flexível quando aplicado após o convencional proporciona uma redução significativa do valor do parâmetro R_{sk} , elimina a presença de picos isolados preservando a profundidade dos vales e reduz a altura dos picos de forma geral. Este fato confere à superfície do cilindro melhorias na retenção de lubrificante, reduzindo o atrito, aumentando a eficiência e diminuindo o desgaste.*

Palavras chave: *Brunimento convencional e flexível, Compressor hermético, Rugosidade, 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 conduzem a uma perda de eficiência (ROSA, 2012). Neste sentido, o par tribológico formado pelo cilindro e o pistão dos compressores recíprocos alternativos merece destaque, uma vez que é responsável por comprimir o fluido refrigerante.

Assim sendo, verificou-se a necessidade de efetuar uma operação de acabamento nos cilindros a fim de eliminar os picos isolados presentes na superfície e arredondar o cume da maioria dos picos, de forma a deslocar a linha média do perfil de rugosidade na direção destes. Neste contexto, foi proposta a avaliação da rugosidade de cilindros de blocos de compressores herméticos usinados pelo brunimento flexível.

2. OBJETIVOS

Este trabalho possui o objetivo de avaliar os perfis efetivos, curvas de *Abbott-Firestone* e o fator de assimetria do perfil (R_{sk}) de cilindros de blocos de compressores hemerticos usinados pelo brunimento convencional, e pelo convencional mais o flexível.

3. METODOLOGIA

Foi utilizada uma amostra de 14 cilindros, inicialmente usinados pelo processo de brunimento convencional e em seguida usinados pelo processo de brunimento flexível. A avaliação da rugosidade foi efetuada após cada operação, utilizando um rugosímetro eletromecânico portátil Surtronic 3+, do fabricante Taylor Hobson, modelo 112/1590, com resolução de 0,01 μm , apalpador com ponta de diamante de raio de 5 μm e certificado de calibração nº 0001/2013. O comprimento de amostragem adotado foi de 0,8 mm, conforme recomenda a ABNT 4288 (2008) e utilizado filtro Gaussiano para retirada das ondulações do perfil. O rugosímetro e a peça foram posicionados e fixados sobre a mesa de medição da máquina de medir a três coordenadas (Fig. 1) e a coleta dos dados foi realizada através do *software* Talysrprofile Gold 4.0, fornecido pelo fabricante do respectivo rugosímetro.

Foi efetuado um ciclo de cinco medições e avaliada a incerteza de medição associada ao parâmetro R_{sk} utilizando o método de Monte Carlo (INMETRO, 2008), para 100.000 iterações, considerando as seguintes variáveis de influência: variabilidade das leituras (LEAL, 2013), resolução do rugosímetro, raio da ponta do apalpador (BHUSHAN, 2002, CHAND *et al.*, 2011), deformação da amostra durante a medição (POON, BHUSHAN, 1995) e incerteza associada a calibração do rugosímetro.

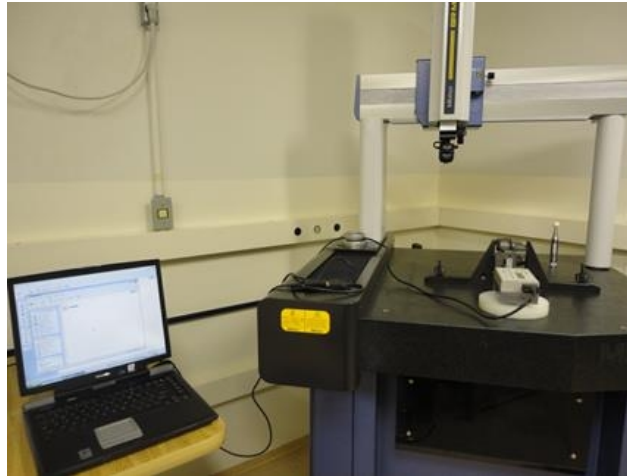


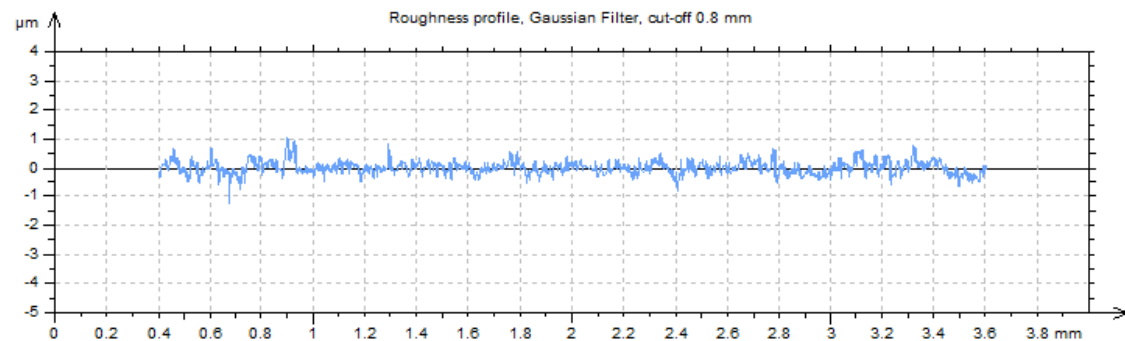
Figura 1 – Rugosímetro portátil Surtronic 3+ da Taylor Hobson posicionado na mesa de desempenho da máquina de medir a três coordenadas.

3. RESULTADOS

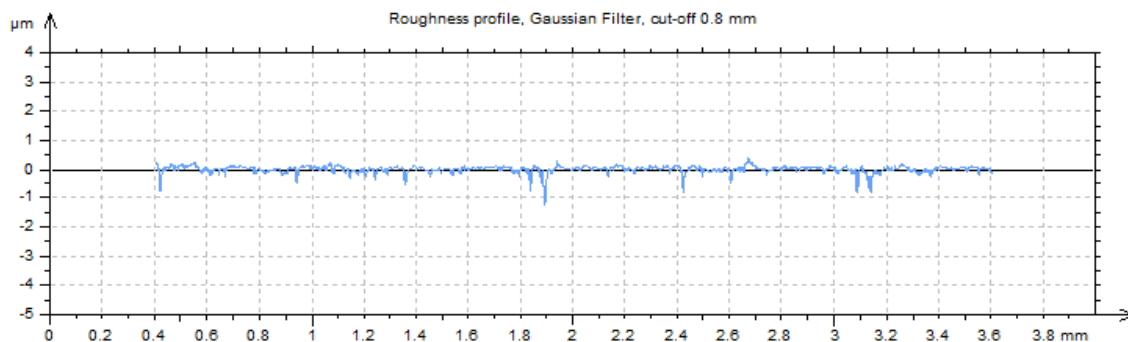
Os resultados foram apresentados em três partes: (1) Perfil Efetivo; (2) Curva de *Abbott-Firestone* e (3) Fator de assimetria do perfil (R_{sk}).

3.1. Perfil Efetivo

É apresentado na Fig. 2 o perfil efetivo obtido para o cilindro do bloco 12 (a) após o brunimento convencional e (b) após o brunimento convencional mais o flexível. Perfis similares foram encontrados para os demais cilindros.



(a)



(b)

Figura 2 - Perfil efetivo obtido para o cilindro do bloco 12 (a) após o brunimento convencional e (b) após o brunimento convencional mais o flexível.

Na Figura 2a constata-se a presença de picos e vales estreitos isolados, com valores máximos de altura e de profundidade de aproximadamente $1,0\ \mu\text{m}$ e $1,5\ \mu\text{m}$, respectivamente. Já na Fig. 2b, verifica-se uma redução da altura destes picos após o brunimento flexível, com valor máximo de $0,5\ \mu\text{m}$, e remoção da presença isolada destes. Para os vales não foi observada uma alteração significativa, cabendo ressaltar que não é possível comparar com exatidão os resultados, uma vez que os pontos apalpados não são os mesmos.

3.2. Curva de Abbott-Firestone

São apresentadas a seguir as curvas de Abbott-Firestone obtidas para o cilindro do bloco 12, (a) após o brunimento convencional, Fig. 3a e (b) após o brunimento convencional mais o flexível, Fig. 3b.

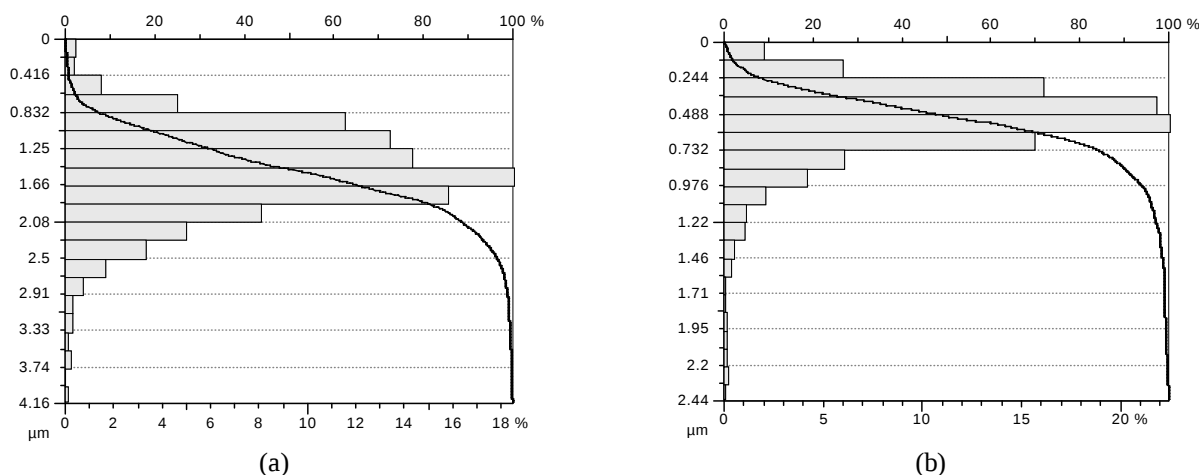


Figura 3 - Curva de Abbott-Firestone obtida para o cilindro do bloco 12, usinado pelo (a) brunimento convencional e (b) pelo convencional mais o flexível.

A Figura 3a mostra que 10% do material do cilindro usinado somente pelo brunimento convencional, corresponde a $0,832\ \mu\text{m}$ da altura do perfil. De $0,832\ \mu\text{m}$ a $2,080\ \mu\text{m}$ de altura, encontra-se 80% do material, restando para $2,080\ \mu\text{m}$ os últimos 10% de material. Já a curva obtida na Fig. 3b, referente ao cilindro usinado pelo brunimento convencional mais o flexível, revela que 10% do material esta localizado em $0,244\ \mu\text{m}$, enquanto que 80% do material esta entre $0,244\ \mu\text{m}$ e $0,976\ \mu\text{m}$ de altura. Os 10% de material restante, encontram-se em $0,976\ \mu\text{m}$ de altura.

Verifica-se que o cilindro usinado pelo brunimento convencional mais o flexível apresentou maior parcela do material localizado na parte inferior do perfil quando comparado ao perfil obtido pelo brunimento convencional. Portanto a linha média desloca-se para cima, comprovando a redução da altura dos picos conforme verificado nos perfis efetivos. Este fato pode ser também verificado através da análise do parâmetro de assimetria Rsk .

3.3. Fator de Assimetria (Rsk)

São mostrados na Fig. 4 os valores médios de Rsk obtido para os 14 cilindros usinados pelos brunimentos convencional e convencional mais o flexível, com barra de erros relativa à incerteza de medição (95,45%).

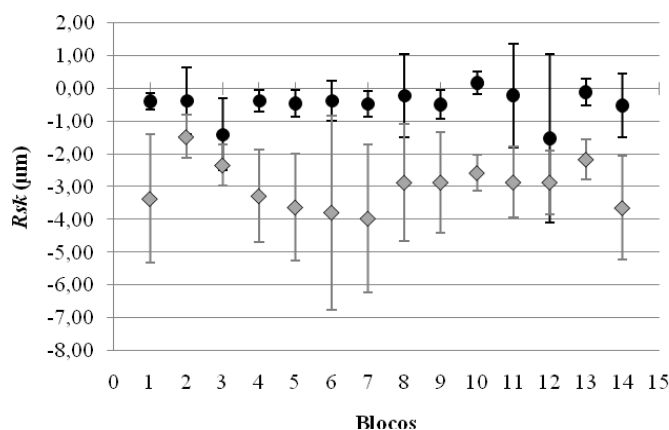


Figura 4 – Valores médios de Rsk , dos cilindros usinados pelos brunimentos convencional e convencional mais o flexível com barra de erros associado à incerteza expandida (95,45%).

De acordo com a Fig. 4, todos os valores médios de *Rsk* obtidos após os dois processos são negativos, exibindo uma redução significativa após o brunimento convencional mais o flexível, com redução média de 595%. Ainda, constatou-se um aumento do desvio-padrão para a maioria dos cilindros usinados por este processo, indicando uma maior variabilidade dos valores após o brunimento convencional mais o flexível. Verifica-se a mesma tendência para a incerteza expandida, em que a variável que mais contribuiu para a incerteza final foi a variabilidade das leituras.

O valor negativo observado para *Rsk* aponta que as irregularidades da superfície possuem um formato da distribuição distorcida para cima, ou seja, caracterizada por sulcos que servem como depósito para lubrificantes. Este valor negativo também indica que as superfícies são menos susceptíveis ao desgaste prematuro. Portanto, conclui-se que a aplicação do brunimento flexível após o convencional, acentua estas características, produzindo uma superfície platfôrmica intensificando a distribuição de mais vales do que picos, evidenciado através da redução dos valores negativos de *Rsk*.

4. CONCLUSÕES

Segundo a avaliação dos perfis efetivos, da curva de *Abbott-Firestone* e do parâmetro *Rsk*, pode-se concluir que é recomendado o processo de brunimento flexível após o brunimento convencional em cilindros de blocos de compressores herméticos, uma vez que esta operação elimina picos isolados e reduz a altura destes, sem alterar a profundidade dos vales, reduzindo o atrito entre o par cilindro-pistão e proporcionando melhorias na retenção de lubrificante.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 4288, Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil-regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. 2008. 10p.
- BHUSHAN, B. Modern Tribology Handbook. Volume One. Chapter 2 Surface roughness analysis and measurement techniques, 2002, pp. 49-120.
- CHAND, M.; MEHTA, A.; SHARMA, R.; OJHA, V.N.; CHAUDHARY, K. P. Roughness measurement using optical profiler with self-reference laser and stylus instrument – A comparative study. Indian journal of pure & applied physics, V. 49, 2011, pp. 335-339.
- INMETRO, A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo. INMETRO-DIMCI-DIMEC-LAPRE INMETRO. Nota técnica, 2008. 34p.
- LEAL, J. E. S. Avaliação da Incerteza em Processos Complexos de Medição Utilizando o Método de Monte Carlo. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- POON, C.Y.; BHUSHAN, B. Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler, AFM and non-contact optical profiler. Wear 190, 1995, pp. 76-88.
- ROSA, V. A. O. Investigação da Operação de Alargamento dos Furos Usinados em Pistões de Ferro-Carbono Sinterizado. 2012. 122 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- STOECKER, W.F.; SAIZ JABARDO, J.M. Refrigeração Industrial. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 371p.