



**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica**
3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905041	
CAPÍTULO 2	12
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905042	
CAPÍTULO 3	22
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905043	
CAPÍTULO 4	27
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO ₂	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905044	
CAPÍTULO 5	35
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4871905045	

CAPÍTULO 6 43

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marcelo Vitor Ferreira Machado
José Brant de Campos
Marilza Sampaio Aguilar
Vitor Santos Ramos

DOI 10.22533/at.ed.4871905046

CAPÍTULO 7 53

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

Túlio Alves Rodrigues
Erika Michele Damas
Gabriela Caixeta Alcarria
Náthaly Nascimento Sousa
Washington Martins da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.4871905047

CAPÍTULO 8 59

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

Luiz Eduardo Rodrigues Vieira
Guilherme de Oliveira Castanheira
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva
Wisley Falco Sales
Álison Rocha Machado
Wilson Luiz Guessser

DOI 10.22533/at.ed.4871905048

CAPÍTULO 9 69

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

André Pereira da Silva
Juliano de Lemos Navarro
Leonardo Almeida Lopes
Felipe Antônio Viana de Araújo
Gabriel Aires Honorato
Sérgio Mateus Brandão

DOI 10.22533/at.ed.4871905049

CAPÍTULO 10 85

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

Camilla Mara Mendonça
Alexandre Queiroz Bracarense
Douglas de Oliveira Santana
Marcelo Teodoro Assunção

DOI 10.22533/at.ed.48719050410

CAPÍTULO 11	99
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050411	
CAPÍTULO 12	114
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050412	
CAPÍTULO 13	123
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_v DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050413	
CAPÍTULO 14	131
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050414	
CAPÍTULO 15	139
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.48719050415	
CAPÍTULO 16	153
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

DOI 10.22533/at.ed.48719050416

CAPÍTULO 17 168

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

Ivanilson Sousa da Costa

Márcio Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050417

CAPÍTULO 18 177

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Kenji Fabiano Ávila Okada

Gabriel Marçal de Carvalho

Eder Silva Costa

Álisson Rocha Machado

DOI 10.22533/at.ed.48719050418

CAPÍTULO 19 187

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Mariana Landim Silveira Lima

Eduardo Carlos Bianchi

Rosemar Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.48719050419

CAPÍTULO 20 193

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

Lurian Souza Vieira da Silva

Rosemar Batista da Silva

Mariana Landim Silveira Lima

Deborah de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.48719050420

CAPÍTULO 21 202

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

Leandro Carvalho Pereira

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Rosenda Valdés Arencibia

Luciano José Arantes

DOI 10.22533/at.ed.48719050421

CAPÍTULO 22 210

USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Leandro Carvalho Pereira

Henara Lilian Costa

DOI 10.22533/at.ed.48719050422

SOBRE O ORGANIZADOR..... 219

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

Leandro Carvalho Pereira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - Minas Gerais

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - Minas Gerais

Rosenda Valdés Arencibia

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - Minas Gerais

Luciano José Arantes

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - Minas Gerais

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de alguns dos principais parâmetros de operação do brunimento flexível na qualidade geométrica do cilindro de blocos de compressores herméticos. Para tanto um planejamento fatorial completo é proposto visando investigar o efeito dos seguintes parâmetros de corte: rotação, velocidade de avanço, número de passadas (golpes) e granulometria da ferramenta, nas variáveis: rugosidade e desvio de circularidade. A rugosidade será avaliada por meio dos valores numéricos dos parâmetros (R_a , R_q , R_p , R_r , R_k ,

R_{pk} , R_{vk} , R_{sk} , R_{ku} , R_{vo} e R_p/R_t) e da curva de *Abbott-Firestone*. O processo de medição da rugosidade será efetuado utilizando um rugosímetro eletromecânico, enquanto que uma máquina de medir desvios de forma (MMDF) será utilizada para medir desvios de circularidade. Já a incerteza de medição será estimada utilizando a metodologia proposta no JCGM 100, exceto para os casos em que a aplicação da lei de propagação de incerteza não forneça resultados adequados, nos quais será aplicado o método de Monte Carlo. Se espera com este trabalho melhorar expressivamente o acabamento superficial dos cilindros de blocos de compressores herméticos o qual influi diretamente na vida útil e na eficiência do compressor. Este processo não requer máquinas especiais para a sua realização, ao contrário dos outros tipos de acabamento por brunimento, como o brunimento a laser e brunimento por jato d'água, que requerem máquinas específicas e dedicadas, tornando o processo oneroso.

PALAVRAS-CHAVE: brunimento convencional e flexível, desvio de circularidade, rugosidade, incerteza de medição.

ABSTRACT: This work has as objective evaluate the effect of some of the main flexible honing the operating parameters of the geometrical quality of the cylinder crankcase

of hermetic compressors. For such a full factorial design experiments is proposed in order to investigate the effect of the following cutting parameters: speed, feed rate, number of passes (strokes) and particle size of the tool; and the variables are: the variables: roughness and roundness deviation. The surface roughness is evaluated by the numerical values of parameters (R_a , R_q , R_p , R_t , R_k , R_{pk} , R_{vk} , R_{sk} , R_{ku} , R_{vo} and R_p/R_t) and *Abbott-Firestone* curves. The roughness measurement process is performed using an electromechanical roughness tester machine, while a machine to measure deviations in shape (MMDF) is used to measure circularity deviations. Since the measurement uncertainty is estimated using the methodology proposed in JCGM 100, except for cases where the application of the uncertainty propagation law does not provide adequate results, which will be applied in the Monte Carlo Method. This work is expected to improve significantly the surface finish of cylinder crankcase of hermetic compressors which directly influences the life and efficiency. This process does not require special machines for its operation, unlike other types of finishing honing, such as laser honing and water jet honing, which require dedicated machines, making costly process.

KEYWORDS: conventional and flexible honing, circularity deviation, roughness, measurement uncertainty.

1 | INTRODUÇÃO

A época contemporânea, caracterizada por grandes descobertas científicas, acelerado desenvolvimento tecnológico e uma economia cada vez mais globalizada, trouxe a evolução dos processos produtivos. O caráter global das relações comerciais, a competitividade e a busca por maiores parcelas no mercado levaram os países a investirem na procura de novas tecnologias, com o objetivo de aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos. Como consequência, máquinas modernas de usinagem foram incorporadas gradativamente ao mundo industrializado, onde os produtos são fabricados com tolerâncias cada vez mais estreitas e em maiores quantidades (Rosa, 2014).

Em busca do desenvolvimento de seus produtos a indústria de refrigeração, em particular na produção de compressores, procura constantemente investir para melhorar seus componentes. Desta forma, o cilindro do bloco do compressor recíproco alternativo hermético, tem recebido uma atenção especial por parte dos fabricantes e pesquisadores, pois requerem elevada exatidão dimensional e geométrica, afim de evitar dificuldades na montagem, o aparecimento de esforços desgastantes, possíveis vazamentos e a perda de eficiência do compressor. Então, a Embraco S/A (Whirlpool - Unidade Compressores) percebeu a necessidade de melhorar, principalmente, a rugosidade do cilindro de seus compressores herméticos visando otimizar o desempenho deste.

Assim sendo, surgiu a ideia por parte da empresa de efetuar uma operação de

acabamento nos cilindros, visando eliminar os picos isolados presentes na superfície e arredondar o cume da maior quantidade de picos afim de evitar o contato metal-metal e a vedação do par cilindro-pistão por meio do lubrificante. Para tanto, a empresa propôs a utilização do processo de brunimento flexível utilizando-se a ferramenta *Flex-Hone*, solucionando-se assim o problema.

O brunimento flexível é um método utilizado após o brunimento convencional que atua por intermédio de partículas abrasivas e elásticas de maneira a não alterar as características geométricas, tais como, cilindricidade, concentricidade, coaxialidade e dimensões da peça (Miller, 1993). Este método de brunimento está sendo cada vez mais utilizado como operação adicional, com o objetivo de arredondar os picos da superfície (Barton e Haasis, 1993). A ferramenta remove picos e imperfeições das paredes de cilindros, criando o acabamento desejável, Fig. (1). O resultado é a redução do atrito, do aquecimento localizado e a melhoria geral no desempenho.

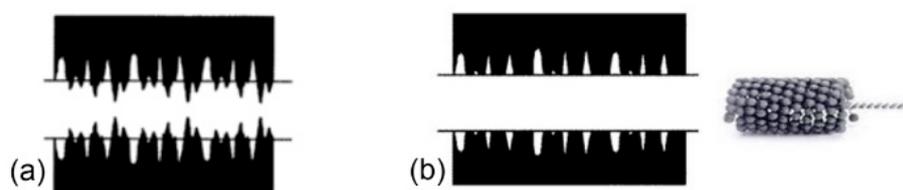


Figura 1. (a) Representação esquemática do perfil de uma superfície cilíndrica antes do processo de brunimento flexível e (b) após este processo com brunidor flexível (Vertec, 2015).

Entretanto, existem outras técnicas de brunimento que poderiam ser utilizadas para efetuar a operação de acabamento dos cilindros. As principais são: o brunimento platô (Andretta, 2001), (Machado, 2008), (Junior, 2009), (Pawlus et al., 2009), (Corral et al., 2010), (Rejowski, 2012), o brunimento por jato d'água (Rejowski, 2012), o brunimento por laser (Andretta, 2001), (Rejowski, 2012), o brunimento deslizante (Rejowski, 2012) e o brunimento espiral deslizante (Rejowski, 2012). Contudo, estas tecnologias são onerosas em relação ao brunimento flexível, que constitui uma alternativa conveniente para atender a demanda por uma alta exatidão dimensional e geométrica do cilindro, de forma simples e econômica.

Apesar destas importantes vantagens, o processo de brunimento flexível tem sido pouco estudado, sendo que na literatura foram encontrados poucos trabalhos sobre este assunto.

De forma geral, a qualidade da superfície obtida por um processo de brunimento de acabamento é usualmente caracterizado por meio dos parâmetros de rugosidade: R_k (Rugosidade do núcleo do perfil- Serie); R_{vk} (Região de vale) e R_{pk} (Região de pico) e duas fronteiras (M_{r1} e M_{r2}), os quais são definidos a partir da curva de Abbott-Firestone. Entretanto, parâmetros como R_{vo} (volume de retenção de óleo) e a relação R_p/R_t (coeficiente de vazio) também caracterizam muito bem este tipo de superfícies e, portanto, devem ser avaliados.

Neste contexto, surgiu a proposta do presente trabalho, que tem como objetivo

principal avaliar a qualidade geométrica do cilindro de blocos de compressores herméticos submetidos ao processo de brunimento flexível utilizando-se uma fresadora CNC e a ferramenta *Flex-Hone*. Para tanto será desenvolvido um planejamento fatorial completo para investigar os efeitos de determinadas condições de usinagem na rugosidade e no desvio de circularidade dos cilindros; além de avaliar a incerteza de medição através da aplicação da metodologia proposta no JCGM 100 (BIPM *et al.*, 2008) e do método de Monte Carlo (INMETRO, 2008), em função da complexidade do mensurando avaliado.

2 | METODOLOGIA

O controle geométrico do cilindro será realizado em 72 peças de compressores herméticos antes da operação de brunimento flexível. Para medição do desvio de circularidade será utilizada uma máquina de medir desvios de forma (MMDF) fabricada pela Taylor Hobson, Fig. (2a), com resolução de $0,01 \mu\text{m}$ e faixa de medição no eixo vertical de 250 mm e no eixo horizontal de 180 mm. Este equipamento possui incerteza expandida associada à calibração de $0,011 \mu\text{m}$, para k igual a 1,97 e probabilidade de abrangência de 95%. Durante a medição serão apalpadas cinco seções e cinco ciclos serão executados para cada peça. Já para a medição da rugosidade será utilizado um rugosímetro portátil, eletro-mecânico, digital, modelo TIME TR200 da Homis, Fig. (2b). Este equipamento possui resolução de $0,001 \mu\text{m}$ e faixa nominal de $160 \mu\text{m}$. Será utilizada uma ponta de diamante de raio igual a $2 \mu\text{m}$. Segundo o certificado de calibração a incerteza expandida associada à calibração do rugosímetro é de $0,060 \mu\text{m}$ para um fator de abrangência k igual a 2,57 e 95 % de probabilidade de abrangência. Será adotado um comprimento de amostragem (L_c) de 0,8 mm, de acordo com a NBR ISO 4288 (ABNT, 2008). A rugosidade da cada peça será medida cinco vezes.

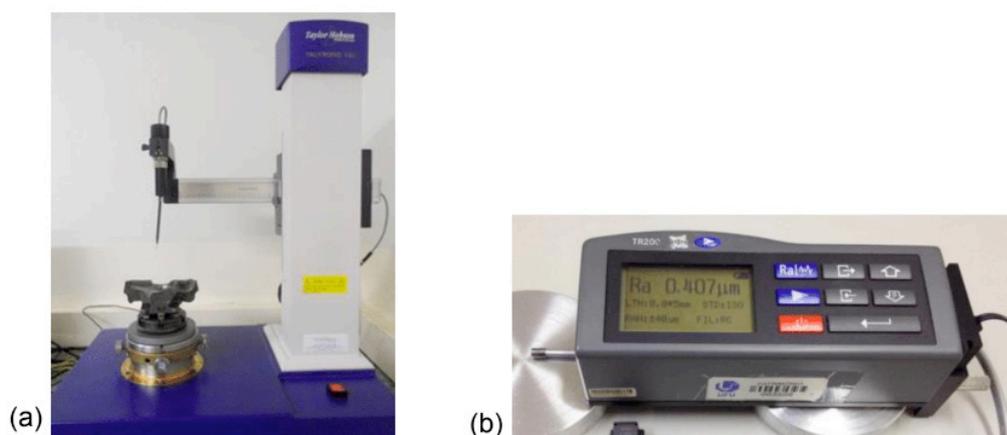


Figura 2. (a) Máquina de medir desvios de forma, fabricada pela Taylor Hobson e (b) rugosímetro portátil, modelo TR200 da Homis.

O rugosímetro e a peça objeto de medição serão posicionados em um desempenho

de granito a fim de minimizar o efeito das vibração mecânica transmitida pelo solo. Aproveitando a excelente capacidade de diagnóstico do programa do rugosímetro, a rugosidade de cada peça será analisada a partir dos valores dos seguintes parâmetros: R_a (Desvio Aritmético Médio do Perfil), R_q (Desvio Médio Quadrático do Perfil), R_p (Altura Máxima do pico do Perfil), R_t (Altura Total do Perfil), R_{sk} (Fator de Assimetria do Perfil - Skewness), R_{ku} (Fator de Achatamento - Kurtosis), R_{vk} (Região de pico), R_{pk} (Região de vale), R_k (Rugosidade do núcleo do perfil), R_{vo} (volume de retenção de óleo) e R_p/R_t (coeficiente de vazio).

Todas as medições serão conduzidas à temperatura ambiente controlada de (20 ± 1) °C. Um termo-higrômetro digital com resolução de 0,1 °C e faixa nominal de (-20 a 60) °C será utilizado para a medição da temperatura. Este equipamento possui certificado de calibração N. R4996/13, emitido pelo Laboratório de Temperatura e Umidade da Elus Instrumentação. Para a temperatura, a incerteza expandida é de 0,3 °C para k igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade.

Em seguida será efetuada a operação de brunimento flexível dos cilindros dos blocos de compressores utilizando-se uma máquina fresadora CNC, conforme a Fig. (3a), e a ferramenta *Flex-Hone*, Fig. (3b).

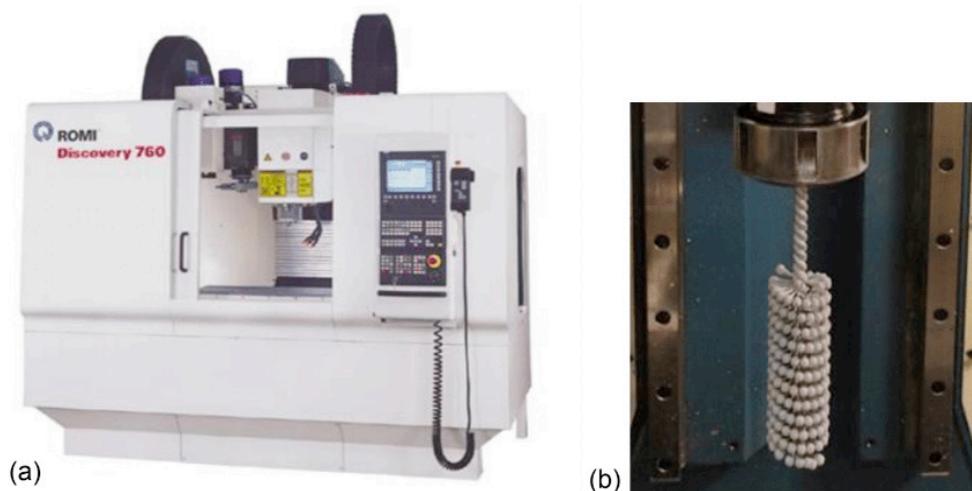


Figura 3. (a) Fresadora CNC, modelo Discovery 760 da Romi, utilizada para realização dos ensaios (Romi, 2015) e (b) brunidor flexível para furo de 22 mm, abrasivo SiC e granulometria 800 mesh.

A usinagem será efetuada segundo o planejamento fatorial completo $2 \times 2 \times 2 \times 3$, onde as variáveis independentes a serem avaliadas (fatores) são: rotação, velocidade de avanço, números de passadas (golpes) e granulometria da ferramenta, e os valores assumidos por cada uma delas (níveis) são mostrados na Tab. (1), perfazendo 24 experimentos, replicados duas vezes, totalizando 72 experimentos.

Após o processo de brunimento flexível o controle geométrico do cilindro dos compressores herméticos será novamente efetuado. Uma análise de variância ANOVA para o experimento fatorial completo citado acima, será realizado para testar a significância dos efeitos principais e de interação entre os mesmos utilizando o

Fator 1 (Rotação)	Fator 2 (Velocidade de Avanço)	Fator 3 (Granulometria da Ferramenta)	Fator 4 (Número de golpes)
-1	-1	-1	-1
+1	-1	-1	-1
-1	+1	-1	-1
+1	+1	-1	-1
-1	-1	-1	0
+1	-1	-1	0
-1	+1	-1	0
+1	+1	-1	0
-1	-1	-1	+1
+1	-1	-1	+1
-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	+1
-1	-1	+1	-1
+1	-1	+1	-1
-1	+1	+1	-1
+1	+1	+1	-1
-1	-1	+1	0
+1	-1	+1	0
-1	+1	+1	0
+1	+1	+1	0
-1	-1	+1	+1
+1	-1	+1	+1
-1	+1	+1	+1
+1	+1	+1	+1

Tabela 1. Matriz de planejamento para o experimento fatorial completo 2x2x2x3.

Com o intuito de contribuir para a rastreabilidade do resultado proveniente de uma medição, será estimado a incerteza de medição para o desvio de circularidade utilizando a metodologia proposta no JCGM 100 (BIPM *et al.*, 2008), enquanto para a rugosidade será aplicado o método de Monte Carlo (MC) conforme recomenda INMETRO (2008).

O modelo matemático para cálculo da incerteza do desvio de circularidade é descrito na Eq. (1).

$$C_{Circ} = L_{MMDF} + \Delta R_{MMDF} + \Delta IC_{MMDF} + \Delta D_{EXC} \quad (1)$$

Onde: C_{Circ} (desvio de circularidade), L_{MMDF} (média dos valores indicados pela MMDF), ΔR_{MMDF} (correção associada à resolução da MMDF) ΔIC_{MMDF} (correção associada à incerteza padrão da calibração da MMDF) e ΔD_{EXC} (correção associada ao desvio de excentricidade da mesa da MMDF).

Já o modelo matemático para o cálculo da incerteza da rugosidade é mostrado

na Eq. (2).

$$R_{Rug} = L_{Rug} + \Delta R_{Rug} + \Delta IC_{Rug} + \Delta A_R + \Delta D \quad (2)$$

Onde: R_{Rug} (parâmetro de rugosidade medido), L_{Rug} (média dos valores indicados pelo rugosímetro), ΔR_{Rug} (correção associada à resolução do rugosímetro), ΔIC_{Rug} (correção associada à incerteza da calibração do rugosímetro), ΔA_R (correção associada ao raio da ponta do apalpador) e ΔD (correção associada à deformação do material durante a medição).

3 | CONCLUSÕES

O brunimento flexível é uma operação de acabamento pouco investigada entre os pesquisadores atuantes na área de fabricação, e portanto não foram encontrados muitos trabalhos na literatura que abordem este processo. Assim, a avaliação dos impactos de variáveis de processo, tais como: rotação, velocidade de avanço, número de golpes e granulometria da ferramenta, na rugosidade superficial e no desvio de circularidade, seria uma grande contribuição científica para a área de fabricação.

Se espera com este trabalho melhorar expressivamente o acabamento superficial dos cilindros de blocos de compressores herméticos o qual influi diretamente na vida útil e na eficiência do compressor. Este processo não requer máquinas especiais para a sua realização, ao contrário de outros tipos de brunimento de acabamento, como o brunimento por laser e brunimento por jato d'água, que requerem máquinas dedicadas, tornando o processo oneroso.

Outros tipos de brunimento podem ser utilizados para esta finalidade, como por exemplo, o brunimento platô, no qual se tem uma redução da altura dos picos e a permanência dos vales no perfil de rugosidade do cilindro. Mas quando se comparam os custos envolvidos nesses dois tipos de brunimento, o brunimento flexível se destaca por possuir custo significativamente menor.

4 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, e às instituições CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ANDRETTA, C. **Brunimento para recuperação das camisas de pistão dos motores de**

Combustão interna. 2001. 76f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

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. 10 f.

BARTON, K. e HAASIS, G. Characteristics of Honing in: Understanding the Basics of Honing. **Technical publication of SME - Society of Manufacturing Engineers**, 37 f. 1993.

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, JCGM 100. **Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement - Propagation of distributions using a Monte Carlo method.** 2008. 90 f.

CORRAL, I. B.; CALVET, J. V.; SALCEDO, M. C. Use of roughness probability parameters to quantify the material removed in plateau-honing. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Barcelona, v. 50, n. 27, p. 621-629, 2010.

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. 34 f.

JUNIOR, R. F. M. **Análise Topográfica da Superfície de Cilindro de Motores a Combustão Interna.** 2009. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MACHADO, G. A. A. **Brunimento a platô aplicado a cilindros de motores: avaliação da evolução da topografia da superfície após ciclos de funcionamento em banco de provas.** 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas, Belo Horizonte, 2008.

MILLER M. Flexible Honing: A Study of Cylinder Wall Micro-structure. **Technical publication of SME - Society of Manufacturing Engineers**, 9 f. 1993.

PAWLUS, P., CIESLAK T., MATHIA T. The Study of Cylinder Liner Plateau Honing Process. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, p. 6078-6086, 2009.

REJOWSKI, E. D. **Caracterização e Desempenho de um Filme de Carbono Amorfo Hidrogenado Tipo Diamante (a-C:H) Dopado com Silício, Aplicado em Camisa de Cilindro de Motor à Combustão Interna.** 2012. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2012.

ROMI, **Centros de usinagem verticais**, Disponível em: <http://romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_discovery_po_ai.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.

ROSA, V. A. O. **Avaliação do desempenho metrológico dos métodos de ajuste utilizados nos programas computacionais dedicados às MM3Cs.** 2014. 21 f. Proposta de Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

Vertec, **Manual Flex-Hone**, Disponível em: <www.vertec.com.br/Produtos/flex_hone.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-248-7

