

MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO DE DRESSAGEM POR MEIO DE EMISSÃO ACÚSTICA E ÍNDICE DE DANO

Erick Luiz Vieira Ruas

Paulo Roberto de Aguiar

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP, Brasil

erick.ruas@unesp.br, paulo.aguiar@unesp.br

Wenderson Nascimento Lopes

Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Pará, Rodovia PA 275, s/n, CEP: 68515-000, Parauapebas, PA, Brasil

wenderson.lopes@ifpa.edu.br

Thiago Glisoi Lopes

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP, Brasil

thiago.glisoi@unesp.br

Cristiano Soares Junior

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP, Brasil

cristiano.soares@unesp.br

Resumo. A retificação é um dos mais antigos processos de usinagem baseado na remoção de material por meio da abrasão, utilizando um rebolo abrasivo como ferramenta de corte. Devido ao uso do rebolo durante o processo de retificação este tende a se desgastar, perdendo suas propriedades abrasivas. Por isso, é necessário submetê-lo a um processo de recondicionamento de superfície chamado operação de dressagem, a qual é conduzida por um operador qualificado. Ao longo dessa operação, o maior obstáculo enfrentado pelo operador é a determinação do momento adequado para interromper a dressagem, garantindo que a superfície do rebolo esteja condicionada para o seu uso no processo de retificação. Nesse contexto, métodos de monitoramento indireto da dressagem são de grande valia para o desenvolvimento de índices confiáveis que possam auxiliar o operador na tomada de decisão. Em vista disto, o presente trabalho tem por objetivo a proposta de um novo método de monitoramento indireto da operação de dressagem em rebolo de óxido de alumínio baseado em técnicas de emissão acústica e no índice RMSD. Para tanto, um ensaio de dressagem foi realizado usando um dressador de ponta única, onde os sinais captados por um sensor de emissão acústica foram coletados e posteriormente processados via software Matlab. A partir dos sinais originais de emissão acústica, computou-se os espectros de frequências por meio da PSD e, posteriormente, usando como baseline um espectro de frequências que caracteriza o rebolo como dressado, obteve-se os índices RMSD em uma banda de frequência de maior interesse, isto é, a que melhor caracteriza as condições de corte do rebolo. Os resultados indicam que por meio do índice RMSD é possível caracterizar a condição de corte do rebolo. Desta forma, conclui-se que esse método pode ser usado para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento capaz de caracterizar a condição de corte de rebolo de óxido de alumínio e auxiliar o operador na tomada de decisão, otimizando tanto a operação de dressagem quanto o processo de retificação.

Palavras-chave: Dressagem; Dressador de ponta única; Rebolo de óxido de alumínio; Processo de retificação; emissão acústica.

1. INTRODUÇÃO

A retificação é um processo mecânico de fabricação que utiliza o princípio da abrasão para remoção de material de determinada peça usinada (BLACK, J. T.; KOHSER, 2008). Para tal, emprega-se um rebolo, o qual é composto por grãos abrasivos unidos por um material ligante. Este rebolo é anexado em uma máquina, que tem por objetivo aplicar uma rotação com velocidade angular determinada, possibilitando assim o processo de retificação.

Por se encontrar nos processos finais de usinagem, a retificação ganha um olhar especial pois se encontra descarregado na peça todo o valor agregado adquiridos nos processos anteriores como homem hora, tempo de máquina, custos diretos e indiretos da linha de produção (NAKAI *et al.*, 2015). Sob este prisma, a qualidade da superfície de corte do rebolo é fator central para que a usinagem atinja os padrões de qualidades solicitados para o projeto como textura superficial da

peça, tolerâncias dimensionais, rugosidade e acabamento (PATNAIK DURGUMAHANTI; SINGH; VENKATESWARA RAO, 2010).

Frente ao exposto, as condições de corte do rebolo se tornam protagonistas do processo de retificação. Sendo necessário que o rebolo tenha sua superfície de corte uniformizada, alinhada e limpa, sem impurezas e com os grânulos com suas propriedades de corte estabelecidas, a fim de não danificar a peça usinada. Com isso, a afiação da ferramenta rebolo, que é feito pela operação de dressagem, se torna uma necessidade direta para atingir a qualidade superficial exigida, sustentando a máxima “Retificação é Dressagem” (WEGENER *et al.*, 2011).

A operação de dressagem é empregada para a restituição das condições de corte do rebolo que são diminuídas com o processo de retificação. Esta operação se baseia na passagem do rebolo em um dressador, que possui uma dureza maior que a dos grânulos e ligantes contidos no rebolo, removendo assim impurezas, cavacos, desobstruindo os poros e corrigindo possíveis falhas como conicidade, excentricidade e empastamento (DENG; XU, 2019).

Contudo, a operação de dressagem ainda se baseia na experiência e na habilidade manual de um operador. Por se tratar de um processo delicado e com alto impacto econômico-financeiro na linha de produção, são bem vistas empreitadas que buscam métodos de monitoramento da dressagem da superfície de corte do rebolo, habilitando assim uma automatização da operação de dressagem (LOPES *et al.*, 2017). Mesmo assim, é muito complexo o monitoramento e acompanhamento indireto inerentes a operação, pois o rebolo é composto por grânulos de tamanhos e formas aleatórias, unidos por um ligante que por muitas vezes estão com seus vazios preenchidos por cavacos ou impurezas resultantes do processo de retificação, aumentando de forma significativa as variáveis da ação (RIBEIRO *et al.*, 2017).

Com a indústria da manufatura apresentando estas dificuldades, em (DORNFELD; CAI, 1984) apresenta-se a aplicação da EA para o monitoramento do processo de retificação. Este fato possibilitou um monitoramento de forma indireta do processo, em tempo real, de forma não destrutiva e não invasiva. Consequentemente, diversos estudos seguiram o preconizado por esta publicação, utilizando EA como base para o monitoramento tanto do processo de retificação quanto a operação de dressagem, possibilitando assim a aplicação de diversas ferramentas matemáticas e estatísticas para avaliação dos sinais e correlação ao estado da ferramenta (ALEXANDRE *et al.*, 2018).

O presente estudo propõe uma análise dos sinais adquiridos na operação de dressagem, através de parâmetros estatísticos que se baseiam em análises de sinais no domínio da frequência utilizando a PSD (Power Density Spectral – Densidade Espectral de Potência), com intuito de avaliar a regularidade da superfície de corte do rebolo de óxido de alumínio no momento da operação de dressagem, comparando e classificando os espectros obtidos por meio do índice de dano RMSD (Root Mean Square Deviation – Desvio do Valor Médio Quadrático) semelhante ao utilizado por (RIBEIRO *et al.*, 2017).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Banco de ensaio e procedimentos dos testes

Neste trabalho testes da operação de dressagem foram conduzidos em uma máquina retificadora tangencial plana, modelo RAPH 1055 da empresa Sulmecânica. Um rebolo de óxido de alumínio de 352,8 x 25,4 x 127 mm de dimensão inicial, de fabricação da empresa NORTON de modelo 38A.100.LVH. Empregou-se, para a operação de dressagem, uma rotação no rebolo de 1800 RPM. Rotação esta que foi mantida constante ao longo de todos os testes. Um dressador de ponta única, obtido pela técnica Chemical Vapour Deposition (CVD), foi fixado na máquina por meio de um suporte de dressador. Um Sensor de EA fabricado pela empresa Sensis, foi fixado no suporte do dressador por meio de resina. Um oscilógrafo modelo DL850, de fabricação da Yokogawa®, foi utilizado como DAQ na aquisição e armazenamento temporário dos sinais obtidos por meio do sensor de EA. Os elementos citados estão dispostos conforme representado na Figura 1.

Inicialmente o rebolo estava em condição empastada, isto é, com baixa afiação. Em sequência, 30 passes de dressagem foram conduzidos, e os sinais adquiridos pelo DAQ a uma frequência de amostragem de 2MS/s. Nos passes de dressagem 05 (cinco), 10 (dez) e 25 (vinte e cinco), a afiação do rebolo era verificado por meio do método do disco retificado que foi empregado para mensurar a agressividade do rebolo em 03 (três) posições ao longo de sua superfície de corte, obtendo desta forma a agressividade média da ferramenta. Após todos os testes da operação de dressagem, os dados coletados pelo DAQ foram transferidos para um computador por meio de transmissão com fio, empregando para tal um cabo de rede.

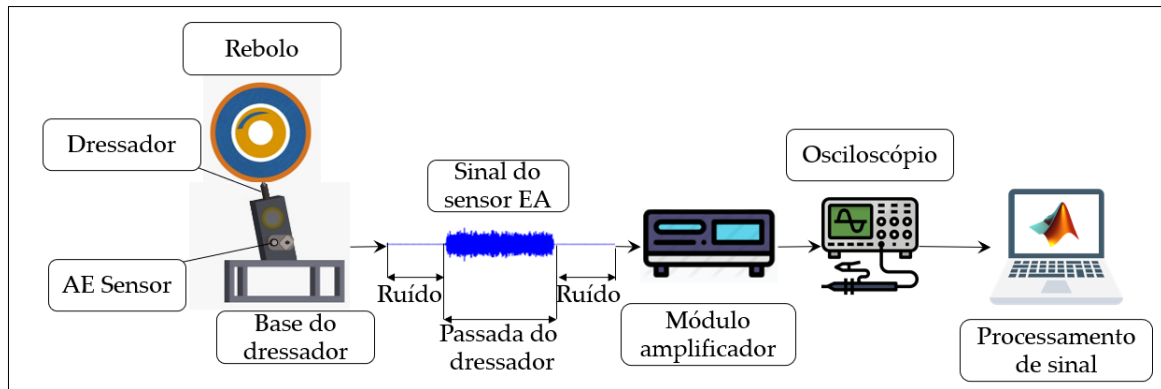


Figura 1. Banco de ensaio

Todos os ensaios foram definidos com parâmetros de dressagem controlados para posteriormente compará-los com uma verificação do método. Os parâmetros iniciais são apresentados na Tabela 1. Para a medição de b_d , que corresponde a largura de atuação do dressador, foi utilizado um microscópio digital de marca DTN, modelo USB: DNT DigiMicro 2.0 Scale, com câmera de dois megapixels (2 MP) de resolução. O software do microscópio possibilitou mensurar a ponta de diamante do dressador a partir das imagens capturadas. Para manter as proporções, as imagens foram captadas sempre da mesma posição, a uma distância de 8 mm em relação a ponta do dressador, usando o corpo do dressador (que corresponde a 10mm de diâmetro) como referência.

Tabela 1. Parâmetros dos Ensaios de Dressagem para a Demonstração do Método

Parâmetros Envolvidos nos Ensaios de dressagem							
N_s [RPM]	D_s [mm]	V_s [m/s]	b_d [μ m]	t_d [s]	S_d [mm]	U_d	P_d
1800	351,6	33,14	522	5,675	0,1491	3,5	30

2.2. Processamento digital de sinais

O processamento digital de sinais foi conduzido no programa Matlab®. Inicialmente, por meio da estatística PSD. A PSD pode ser obtida via método Welch, um algoritmo implementado no programa Matlab®, proposto por WELCH, (1967). Este método separa os dados em vários segmentos sobrepostos, calcula um espectro de potência usando a transformada rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform) sobre cada segmento e faz a média destes espectros. Para estimar a PSD ele é considerado como sendo o mais eficiente.

Em seguida, foi aplicado o desvio do valor médio quadrático (RMSD) que é uma função utilizada para comparação entre sinais, verificando as variações em relação ao sinal que representa a baseline com os demais sinais coletados. O índice RMSD é baseado na norma Euclidiana conforme apresentado em (DE ALMEIDA; BAPTISTA; DE AGUIAR, 2015), e é descrito por (LOPES *et al.*, 2018) e por (RIBEIRO *et al.*, 2017) conforme Eq. (1):

$$RMSD = \sum_{k=\omega_i}^{\omega_f} \sqrt{\frac{[X_d(k) - X_h(k)]^2}{X_h^2(k)}} \quad (1)$$

onde $X_h(k)$ é o espectro do sinal obtido quando o processo estava sob condição de referência, $X_d(k)$ é o espectro do sinal obtido quando processo estava sob condição de alteração em relação a referência e k representa as frequências nas quais ambos os espectros foram analisados. Os dados dos sinais obtidos nos ensaios de dressagem foram computados e processados no software MATLAB® usando as etapas descritas na Figura 2.

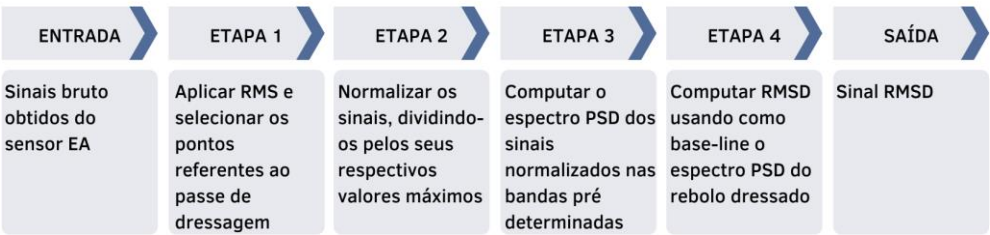


Figura 2. Sequência do tratamento de dados

A entrada se dá pela captação dos sinais brutos originados pela ação de dressagem pelo sensor EA entregues ao software, software MATLAB®, até então estes sinais não sofreram nenhum tipo de processamento e sendo definidos como sinais brutos. Do sinal bruto de cada passada, são extraídos por meio do RMS, apenas os dados relativos ao passe de dressagem, definindo como ruído todos os dados que ocorrem antes e todos os dados que ocorrem depois do passe do dressador. Após a retirada destes ruídos, o sinal é normalizado dividindo seus dados pelos seus respectivos valores máximos.

Com o sinal já normalizado, por meio do método Welch, obteve-se os espectros PSD usando uma janela de Hanning com uma sobreposição de 50%. Com intuito de avaliar as bandas de frequência que melhor caracterizam as condições de corte do rebolo, a partir desses espectros, a faixa de frequência de 20 kHz a 200 kHz foi selecionada para estudo. Dentro dessa faixa, aplicando um passo deslizante de aproximadamente 1 kHz, iniciando em 20 kHz uma janela deslizante de comprimento fixo e igual a 10kHz foi usada para obter os índices RMSD. Nesse processo, a baseline usada foi um espectro de frequência que configura o rebolo como dressado.

2.3. Ensaio de Verificação do Método

A verificação do método se deu em um novo conjunto de ensaios para a ação de dressagem, utilizando o mesmo rebolo e alterando os parâmetros de dressagem podendo assim aferir a confiabilidade do método, conforme dados compilados e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros dos Ensaios de Dressagem para a Verificação do Método

Parâmetros Envolvidos nos Ensaios de dressagem							
N _s [RPM]	D _s [mm]	V _s [m/s]	b _a [μm]	t _d [s]	S _a [mm]	U _d	P _d
1800	351,2	33,1	684	6,81	0,1244	5,5	30

Os sinais foram captados pelo sensor de EA da mesma maneira que feito no ensaio de demonstração do método. Vale ressaltar que foram realizadas ações de retificação para deixar o rebolo com sua superfície não dressada e logo depois foram efetuados trinta passes pelo dressador de ponta única, utilizou-se o mesmo rebolo com repetições da ação, onde só foi trocado o grau de recobrimento U_d do ensaio.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliar a condição do rebolo antes e após a operação de dressagem, é apresentada a Figura 3 que demonstra em detalhe a superfície de corte do rebolo nas condições dressada e não dressada respectivamente:



Figura 3. Superfície de corte do rebolo

A superfície de corte do rebolo apresentada na imagem Figura 3 (a) contém resíduos e empastamento de outros materiais cobrindo os grãos abrasivos do rebolo, o que prejudica na sua ação, ao contrário do que traz a Figura 3 (b) que é possível ver uma distribuição uniforme de grãos abrasivos, poros e ligantes, tornando a superfície de corte mais homogênea. Os sinais originais captados no ensaio de demonstração do método, são representados na Figura 4 (a), sinais estes que estão normalizados em sua amplitude. É possível verificar a primeira passada captada pelo sensor EA, passada essa que o rebolo se encontrava numa condição não dressada, com irregularidades em sua superfície de corte. É possível identificar que as amplitudes se comportam de forma irregular ao longo da passada.

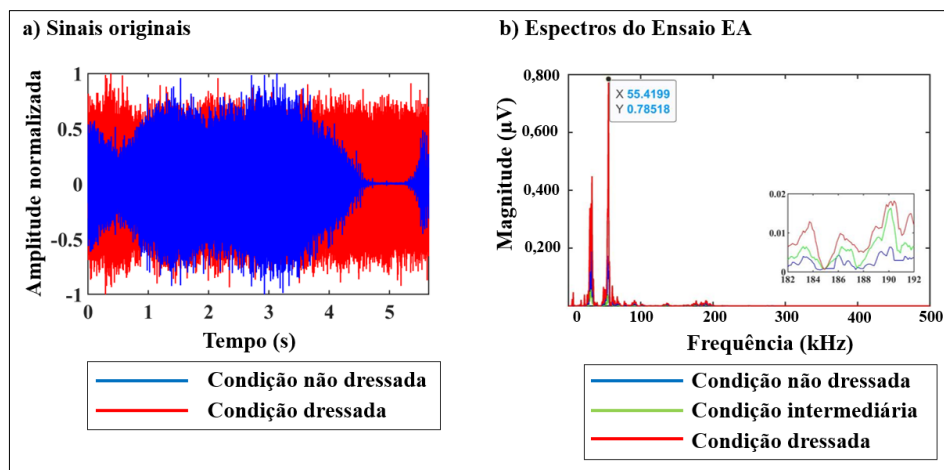


Figura 4. Sinais originais referente ao ensaio de demonstração do método

Os sinais que representam as condições dressada e não dressada, representados na Figura 4(a), são os sinais originais captados nos ensaios. No sinal da condição dressada é perceptível a maior uniformidade ao longo do passe de dressagem, configurando uma superfície mais igualitária nos pontos em que há o contato da ferramenta com a superfície de corte do rebolo.

Ao transpor estes sinais para o domínio da frequência conforme a Figura 4(b), é possível identificar o ponto de maior magnitude com $0,7852\mu\text{V}$ na frequência de $55,42\text{kHz}$, obtidos pelo sensor de EA. Em detalhe do gráfico da, verifica-se em a banda de 182 a 194 kHz apresentando as condições não dressada, intermediário e dressado.

Após a aplicação da PSD, os sinais foram separados em faixas de frequências a partir de 20kHz com deslizamento de 1kHz e largura de banda de 10kHz, com término em 200kHz. Os resultados obtidos foram organizados por bandas e aplicado o índice RMSD com todas as passadas, com a baseline sendo a última passada, que representa o rebolo dressado. Ao analisar os gráficos gerados, é possível identificar as bandas que melhor responderam ao método proposto, sendo como melhor resultado para os sensores de EA a banda de 182 a 192 kHz, conforme Figura 5.

Para efeitos comparativos, são sobrepostos os resultados do índice de dano dos ensaios de demonstração do método e de validação do método, separados agora por tipo de sensor, sendo a Figura 5 representando os dados obtidos pelo sensor EA. Neles são possíveis verificar que o padrão de curva permanece nas bandas identificadas como melhores.

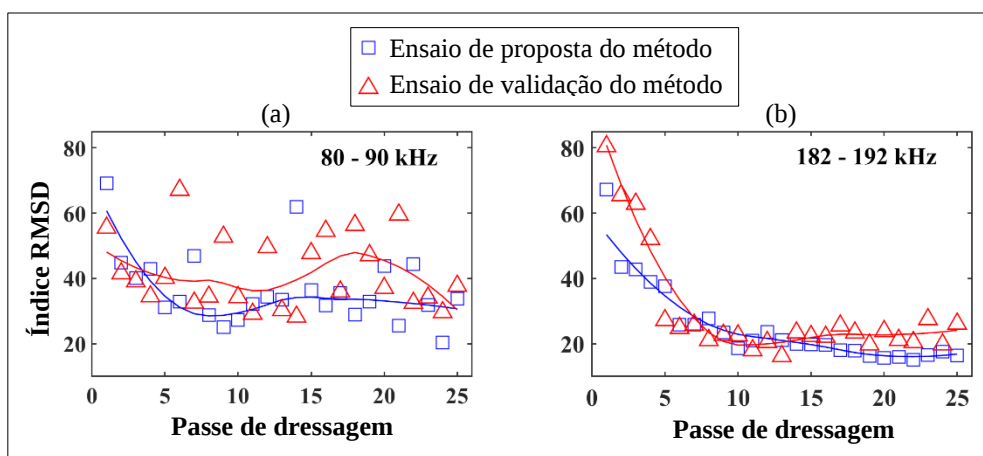


Figura 5. Índice RMSD nos ensaios 1 e 2 para o sensor EA

A Figura 5(a) apresenta uma banda aleatória de 80 a 90 kHz que não correspondeu ao método apresentado, onde é possível ver a dispersão aleatória dos dados obtidos. Já na banda 182 a 192 kHz, representada na Figura 5(b), a resposta do RMSD mostrou a normalização do índice com a evolução das passadas, podendo assim se afirmar que entre as passadas 10 e 15 o rebolo já estaria dressado e com sua superfície de corte reestabelecida.

4. CONCLUSÃO

A extração de informações dos sinais originais de emissão acústica via PSD e índice RMSD possibilitou a caracterização das condições de corte do rebolo ao longo da operação de dressagem a partir de uma banda de frequência pré-selecionada. A banda de frequência que melhor caracterizou as condições de corte do rebolo se estende de 182 kHz a 192 kHz. Observou-se também nesse estudo que o sinal original de emissão acústica é composto por frequências que não possuem relação direta com as condições de corte do rebolo.

Por fim, conclui-se que aplicando-se o método em bandas de frequência que estão mais relacionadas com as condições da superfície de corte do rebolo é possível determinar o momento adequado para interromper a operação de dressagem. Desta forma, o método pode ser usado para o desenvolvimento de um sistema de controle capaz de caracterizar a condição de corte de rebolo de óxido de alumínio, auxiliando o operador na tomada de decisão e otimizando tanto a operação de dressagem quanto o processo de retificação. Ademais, ressalta-se que a abordagem realizada neste trabalho é inicial e estudos adicionais se fazem necessários de forma a validar o método proposto em diferentes condições de dressagem.

5. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, Felipe Aparecido *et al.* Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel using AE and fuzzy model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, [S. l.], v. 96, n. 1–4, p. 67–79, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1582-0>
- BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. *DeGarmo's Materials and processes in manufacturing*. 10. ed. [S. l.]: ed. River Street, 2008. *E-book*.
- DE ALMEIDA, Vinicius Augusto Dare; BAPTISTA, Fabricio Guimaraes; DE AGUIAR, Paulo Roberto. Piezoelectric transducers assessed by the pencil lead break for impedance-based structural health monitoring. *IEEE Sensors Journal*, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 693–702, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2352171>. Acesso em: 6 maio. 2019.
- DENG, Hui; XU, Zhou. Dressing methods of superabrasive grinding wheels: A review. *Journal of Manufacturing Processes*, [S. l.], v. 45, n. March, p. 46–69, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.06.020>
- DORNFELD, D.; CAI, He Gao. An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission. *Journal of Engineering for Industry*, [S. l.], v. 106, n. 1, p. 28–33, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.3185907>
- LOPES, Barbara Guedes *et al.* Study on the effect of the temperature in Acoustic Emission Sensor by the Pencil Lead Break Test. In: 2018, 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON). : IEEE, 2018. p. 1226–1229. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2018.8627213>. Acesso em: 21 maio. 2019.
- LOPES, Wenderson Nascimento *et al.* Digital signal processing of acoustic emission signals using power spectral density and counts statistic applied to single-point dressing operation. *IET Science, Measurement and Technology*, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 631–636, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2016.0317>
- NAKAI, M. E. *et al.* Neural tool condition estimation in the grinding of advanced ceramics. *IEEE Latin America Transactions*, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 62–68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7040629>
- PATNAIK DURGUMAHANTI, U. S.; SINGH, Vijayender; VENKATESWARA RAO, P. A New Model for Grinding Force Prediction and Analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, [S. l.], v. 50, n. 3, p. 231–240, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.12.004>
- RIBEIRO, Danilo M. S. *et al.* Spectra Measurements Using Piezoelectric Diaphragms to Detect Burn in Grinding Process. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, [S. l.], v. 66, n. 11, p. 3052–3063, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIM.2017.2731038>
- WEGENER, K. *et al.* Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, [S. l.], v. 60, n. 2, p. 757–777, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.05.003>

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

Monitoring of Dressing Operation Through Acoustic Emission and Damage Index

Abstract. Grinding is one of the oldest machining processes based on the removal of material by means of abrasion, using an abrasive wheel as a cutting tool. Due to the use of the wheel during the grinding process it tends to wear, losing its abrasive properties. Therefore, it is necessary to perform a surface reconditioning process called dressing, which is conducted by a qualified operator. The greatest obstacle faced by the operator during the dressing process is to decide when to stop the dressing process to secure that the surface of the wheel is ready for use in the grinding process. In this context, methods for indirect monitoring of dressing are very valuable for the development of reliable indexes that can assist the operator in decision-making. For this reason, the objective of the present work is to propose a new method for monitoring the dressing operation of an aluminum oxide wheel based on acoustic emission techniques and the RMSD index. To this end, a dressing test was performed using a single-point dresser, in which the signals acquired by an acoustic emission sensor were collected and further processed via Matlab software. From the raw acoustic emission signals, the frequency spectra were computed by means of PSD and, then, the RMSD indexes were obtained in a frequency band of interest, that is, the one that best characterizes the cutting conditions of the wheel. A frequency spectrum that characterizes the grinding wheel as dressed was used as baseline for the RMSD computation. The results show that through the RMSD index it is possible to characterize the cutting condition of the grinding wheel. Thus, it is concluded that this method can be used for the development of a control system that can characterize the cutting condition of aluminum oxide grinding wheels and assist the operator in decision-making, optimizing both the dressing operation and the grinding process.

Keywords: Dressing; single-point dresser; aluminum oxide wheel; Grinding process; Acoustic emission.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.