



Conference Paper

ANÁLISE DE SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA E ESTATÍSTICA COUNTS NA DETECÇÃO DA ALTERAÇÃO MICROESTRUTURAL NA RETIFICAÇÃO DE AÇO 1045

Felipe Aparecido Alexandre¹, Martin Antonio Aulestia Viera¹,
Pedro Oliveira Conceição Junior¹, Leonardo Simões¹,
Wenderson Nascimento Lopes¹, Paulo Roberto de Aguiar¹,
Eduardo Carlos Bianchi¹, and Rosemar Batista da Silva²

¹Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - UNESP, Bauru, São Paulo, Brasil

²Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Abstract

Grinding is a high-precision, high-value-added finishing process as it is usually the last stage of the manufacturing chain. However, unsatisfactory results may occur, mainly due to changes in the microstructure of the ground workpiece. Such changes are caused by the high temperatures involved in the process due to the grinding conditions in which the part was subjected. In this way, the main objective of this work is the monitoring of the grinding process in order to detect changes in the signal and to relate them with damage occurred in the ground workpiece. The tests were carried out on a surface grinding machine, aluminum oxide grinding wheel and ABNT 1045 steel parts. Metallography was performed on the parts for a more further analysis of their microstructure. The recording of signals was obtained at a sample rate of 2 MHz through an acoustic emission sensor (AE). A frequency study for the selection of the best frequency bands that characterize damage occurred in the ground workpiece. The event counts statistic was applied to the filtered signal in the chosen frequency bands. The results of this work show that the grinding conditions influence the signal and, therefore, its frequency spectrum.

Keywords: Manufacturing process; automation, monitoring; grinding process; acoustic emission, damage detection

Resumen

A retificação é um processo de acabamento de alta precisão de alto valor agregado, pois geralmente é o último estágio da cadeia de manufatura. No entanto, resultados insatisfatórios podem ocorrer, principalmente devido as alterações na microestrutura

Corresponding Author:
Pedro Oliveira Conceição
Junior
pedroliveira931@hotmail.com

Received: 15 November 2017
Accepted: 5 January 2018
Published: 4 February 2018

Publishing services provided
by Knowledge E

© Felipe Aparecido Alexandre et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the ESTEC Conference Committee.



da peça retificada. Tais alterações são provocadas pelas altas temperaturas envolvidas no processo devido às condições de retificação em que a peça foi submetida. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é o monitoramento do processo de retificação a fim de detectar alterações no sinal e relacioná-las com dano ocorrido na peça retificada. Os ensaios foram realizados em uma retificadora tangencial plana, rebolo de óxido de alumínio e peças de aço ABNT 1045. Foi realizada metalografia nas peças para uma análise mais rigorosa sobre sua microestrutura. A aquisição de sinais foi obtida a uma taxa de 2 MHz através de um sensor de emissão acústica (EA). Um estudo em frequência para a escolha das melhores faixas que caracterizam o fenômeno da queima foi efetuado. A estatística Counts foi aplicada ao sinal filtrado nas faixas escolhidas. Os resultados desse trabalho mostram que as condições de retificação influenciam no sinal e, portanto, no seu espectro de frequência.

Palabras claves: Processo de manufatura; Automação; processo de retificação; emissão acústica, detecção de danos

1. Introdução

O processo tecnológico deve ser baseado no conhecimento científico aprofundado. Os primeiros estudos sobre o contato do rebolo e da peça a ser retificada foram feitos no começo da década de 1970, estes de caráter empírico e semi-analítico. A partir de então, vários estudos sobre o modelo e a simulação da retificação começaram a ser efetuados (Osa et al., 2016). A importância do processo de retificação aumentou ao longo dos anos; isto é comprovado pelas necessidades industriais e o aumento do número de artigos que vem sendo publicados sobre este assunto (Brinksmeir et al., 2006).

A retificação é um processo de usinagem por abrasão de acabamento em peças de precisão, as quais possuem grande valor agregado, tornando a perda nesta etapa inadmissível. Este é um processo muito complexo, isto porque envolve um grande número de variáveis, como as condições do rebolo, a rugosidade, o desbalanceamento, a peça, entre outras (Aguiar et al., 2006). No processo de retificação existe o contato entre grande número de partículas abrasivas da superfície do rebolo com a superfície da peça retificada (Bianchi et al. 2003), tornando o processo dessa forma estocástico.

No processo de retificação, boa parte da energia empregada no processo é transformada em calor em função do atrito causado pelo processo. Dessa forma, tal aumento

de temperatura pode causar a queima da peça durante o processo de retificação (Badger, 2009). A principal consequência da queima da peça é a alteração da sua microestrutura e, por conseguinte, suas propriedades mecânicas (Saravanapriyan et al., 2001). Essa ocorrência traz prejuízo, visto que o material utilizado perdeu suas propriedades originais, levando a perda de qualidade.

Existem diversos graus de danos térmicos, entre eles, alguns são visuais e outros não. O que realmente determina a queima é a mudança da microestrutura do material. Em alguns casos, existe a possibilidade de haver mudanças de coloração da peça usinada e não ocorrer o fenômeno da queima, pois a microestrutura da peça não foi alterada.

Uma alternativa para a detecção de queima através de ensaios de metalografia é o monitoramento do processo de retificação, com o objetivo de detectar alterações nos sinais coletados para relacionar com as condições da peça e a ocorrência da queima. Desta forma, considerando a necessidade da indústria, no que tange o aumento da produtividade, e o maior controle de qualidade em relação a produção, o monitoramento se apresenta como uma das melhores alternativas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em aplicar a estatística counts no sinal de emissão acústica proveniente do monitoramento do processo de retificação de aço ABNT 1045 com rebolo de óxido de alumínio, com o intuito de detectar alterações no sinal e relacioná-las com danos ocorridos na peça, ou seja, a queima. Além da aplicação da estatística counts, técnicas alternativas de processamento digital de sinais, como a Transformada Rápida de Fourier (FFT), análise espectral e aplicação de filtros digitais, também estão no escopo do estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos adotados para os ensaios relativos ao presente trabalho, tais como, a configuração do banco de ensaios, o sistema de aquisição de dados o processamento digital de sinais e a extração de características relacionadas aos eventos observados nas peças retificadas.

3.1. Banco de ensaios

Os ensaios foram realizados em uma máquina retificadora tangencial plana, da empresa Sulmêcnica, modelo RAPH 1055, com um rebolo de óxido de alumínio, fabricado pela empresa NORTON, modelo 38A150LVH. As peças utilizadas nos ensaios foram de aço ABNT 1045, cuja composição (peso em%) é: C: 0.43-0.50, Si: 0.17, Mn: 0.52, S: 0.031, P: 0.032 e Fe balanceado, com dimensões de 150 x 7 x 48 mm, entre comprimento, largura e altura. Os testes consistiram de uma única passada de retificação em todo o comprimento da peça. O fluido de corte empregado foi de tipo água/óleo de 4%, com a pressão de 0,4 Mpa e a taxa de vazão de 84 l/min. A velocidade de corte (v_s) foi de 29 m/s e a velocidade da peça (v_w) foi de 0.124 m/s. Os ensaios foram realizados em duas profundidades de corte (a), sendo: 25 μm e 45 μm . Um sensor de emissão acústica e uma unidade de processamento de sinal, da empresa Sensis, modelo DM-42, foi empregada nos testes. O sensor de emissão acústica foi fixado no suporte da peça. Um oscilógrafo, modelo DL850, da empresa Yokogawa, foi empregado para aquisição dos sinais a uma taxa de 2 MHz.

3.2. Avaliação Superficial das peças

A metalografia foi efetuada em ambas as peças com objetivo de obter uma análise mais profunda da microestrutura da peça. Uma amostra de cada peça foi retirada através de uma máquina de corte metalográfico. Cada amostra foi montada, sendo encapsulada com baquelite e embutida por uma máquina de embutimento próprio, modelo EM30D, da marca TECLAGO, utilizando uma pressão em torno de 100 kg. Em seguida, lixamento e polimento foram feitos nas amostras para tornar as superfícies planas e reduzir os danos causados pelo corte abrasivo. Após o polimento, foi efetuado um ataque químico nas amostras utilizando Nital 2%. Para a análise e captura da microestrutura da peça e suas alterações foi empregado um microscópio Olympus, modelo BX51M.

3.3. Processamento digital de sinais

O conjunto de dados dos testes foram processados digitalmente no ambiente MATLAB. Inicialmente foi selecionado somente os conjuntos de dados referentes a passada dos sinais. Após a seleção da passada foi efetuada a separação dos conjuntos de dados referente a região em que a metalografia foi executada. Em seguida a estatística *counts*

foi aplicada em ambos os sinais. A estatística *counts* foi aplicada aos sinais com uma janela de 256 pontos e um limiar de 0.1 V.

A estatística *counts* consiste no número de vezes que um sinal ultrapassa um limiar por unidade de tempo (Lopes et al., 2017). De acordo com Kaphle (2012) a estatística *counts* pode ser utilizada para quantificar a atividade acústica de um sinal.

Um estudo dos espectros dos sinais originais foi executado para identificar bandas de frequências que melhor se relacionam com a condição da superfície da peça (queima e não queima). Para tanto, fez-se uso da Transformada Rápida de Fourier (FFT). O critério utilizado na seleção de bandas de frequência foi baseado na busca por janelas de frequências em que diferenças significantes nas magnitudes dos sinais para cada condição da superfície houvesse ocorrido. Após a seleção da banda de frequências, um filtro digital do tipo passa banda foi aplicado aos sinais adquiridos e novamente a estatística *counts* foi aplicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, resultados e discussões para os ensaios de retificação de aço 1045 com rebolo de óxido de alumínio são apresentadas.

4.1. Metalografia

A metalografia para as peças retificadas é apresentada na Fig. (1). A partir da Fig. (1a) é possível observar a estrutura martensítica sem alteração da peça retificada com profundidade de corte de 25 μm , indicando a não ocorrência da queima. No entanto na Fig. (1b) é observado o surgimento da camada branca e, conseqüentemente, da alteração microestrutural da peça retificada com profundidade de corte de 45 μm . A camada branca verificada é causada pelo aumento significativo de temperatura na zona de corte, tendo como principal conseqüência o aumento da dureza e fragilidade na superfície da peça, indicando assim que o fenômeno de queima ocorreu. (Klocke et al., 2005; Deiva Nathan et al., 1999)

4.2. Processamento de sinais

Os sinais referentes as passadas com profundidades de corte de 25 μm e 45 μm são apresentados na Fig. (2). Os quadros destacados em ambos sinais são referentes ao sinal correspondente a região de metalografia. Os níveis de amplitude dos sinais

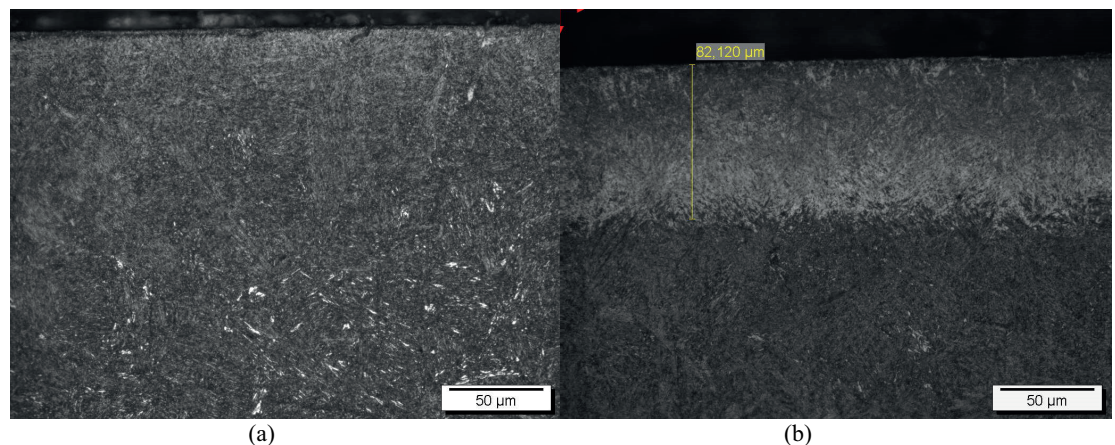


Figura 1: Condição superficial (a) não queima – 25 µm (b) queima – 45 µm

mostram pequenas diferenças, porém não é possível, somente através da análise dos sinais apresentados, a identificação da ocorrência ou não do fenômeno de queima. As diferenças na amplitude dos sinais estão relacionadas com a maior força exercida sobre a peça, devido a profundidade de corte, a topografia do rebolo, bem como a própria superfície da peça que interage com os grãos abrasivos (Alexandre et al., 2017).

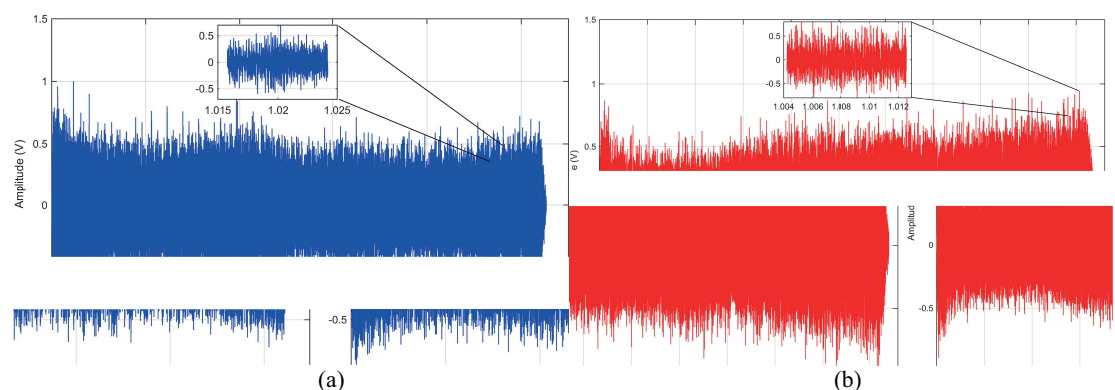


Figura 2: Sinal da passada e região da metalografia (a) 25 µm (b) 45 µm

A estatística counts aplicada aos sinais referentes a região da metalografia é exibida na Fig. (3). Nota-se que a estatística counts não apresenta diferenças significativas de valores entre os sinais de 25 µm e 45 µm. Assim, não é possível identificar a ocorrência ou não da queima na superfície das peças analisadas. Neste contexto, a utilização da análise em frequências dos sinais, em busca de bandas de frequências que melhor caracterizem as condições do processo, faz-se necessária.

A análise espectral dos sinais referentes a passada de retificação é apresentada na Fig. (4). O comportamento do espectro para a peça do teste 2, que apresentou

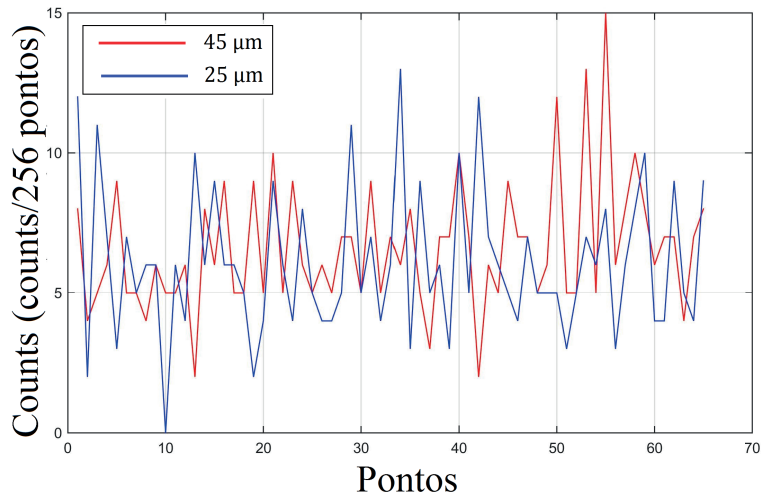


Figura 3: Estatística counts para os sinais com profundidade de 25 μm 45 μm

queima, mostra em geral maior amplitude quando comparado ao sinal da peça do teste 1 onde não houve queima. Assim, as amplitudes dos sinais estão em conformidade com as condições da retificação, ou seja, quanto mais severa a condição de retificação maior a amplitude do sinal, como observado em (Yang & Yu 2013). Algumas regiões apresentam sobreposições e não são ideais para utilização em filtros digitais, pois não caracterizam o processo da melhor forma. As melhores bandas de frequências são aquelas que apresentam baixa sobreposição (Martins et al. 2014), como apresentado no quadro da Fig. (4).

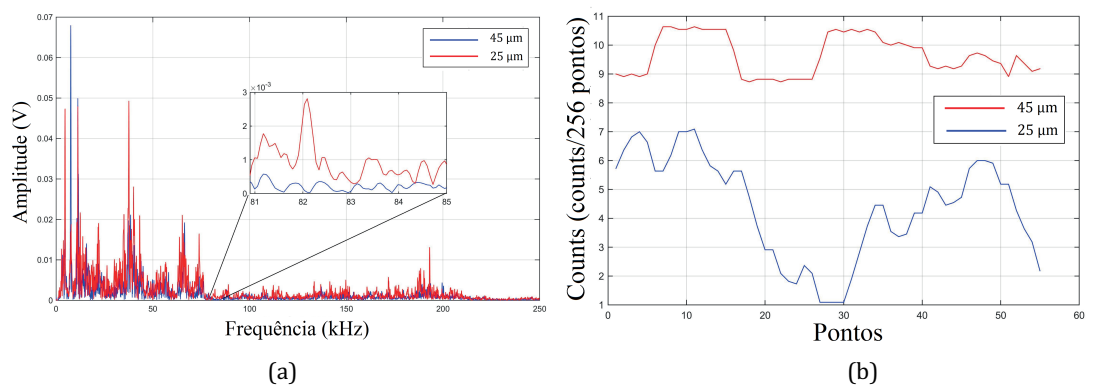


Figura 4: (a) Espectro de Frequências para os sinais da passada de 25 μm e 45 μm; (b) Estatística counts para a banda de frequências selecionada

A estatística *counts* aplicada aos sinais, referentes a região onde foi realizada a metalografia, e filtrados na banda escolhida por meio da análise espectral, é exibida na Fig. (5). De forma oposta a Fig. (3), a estatística *counts* possibilita identificar a peça em que houve a ocorrência de queima (Teste 2 – 45 μm). Os valores de contagem para o Teste 2 são maiores do que os valores apresentados para o Teste 1, onde não houve

queima. Observa-se que na ocorrência de queima há maior atividade acústica do sinal. Justifica-se esse fenômeno com base no aumento de força do rebolo para a remoção do material, devido ao desgaste dos grãos abrasivos que perdem sua afiação. Além disso, o aumento de temperatura e o empastamento do rebolo também influenciam no aumento da atividade acústica. De acordo com Kwak e Song (2001), no início da queima na retificação a força de retificação e a taxa de desgaste do rebolo aumentam bruscamente, além da deterioração da superfície da peça, aumentando a rugosidade. Além desses pontos supracitados, a distribuição de energia em sinais de emissão acústica sob alta expansão térmica se concentra em bandas de alta frequência, como apresentado por (Liu et al. 2006), justificando assim os resultados apresentados neste trabalho

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho um sensor de emissão acústica foi utilizado para monitorar o processo de retificação, com o objetivo de auxiliar na identificação da queima na superfície das peças. Para tanto, fez-se uso do processamento digital de sinais, tais como a Transformada Rápida de Fourier (FFT), seleção de bandas que caracterizam o processo, aplicação de filtros digitais, e a utilização da estatística *counts*. Além do processamento digital dos sinais, análises metalográficas foram efetuadas em ambas as peças para melhor fundamentar as conclusões deste estudo.

Os resultados mostram que as condições de retificação influenciam de forma direta nos sinais, alterando os espectros de frequência. A estatística *counts* quando aplicada somente ao sinal puro, sem o estudo adequado da análise espectral, não apresentou bons resultados, indicando, dessa forma, a necessidade do estudo em frequências para melhor caracterização do sinal e utilização de filtros digitais. Após a utilização de filtros digitais nos sinais, dentro da banda de frequências determinadas, o resultado da estatística *counts* apresentado foi muito satisfatório, demonstrando relação com o dano na peça comprovado pela metalografia das peças e estudos sobre a queima na retificação.

Assim, esse trabalho mostra que a seleção de uma faixa de frequência específica do sinal de EA aplicada a estatística *counts*, pode contribuir para o monitoramento da ocorrência da queima na retificação do aço ABNT 1045 com rebolo de óxido de alumínio. Dessa forma, o método proposto neste trabalho pode ser aplicado industrialmente para promover uma melhora significativa na automação do processo de forma não invasiva.

Referencias

- [1] Aguiar, P.R. De, Bianchi, E.C. & Serni, P.J.A., 2006. Automatic System for Thermal Damage Detection in Manufacturing Process with Internet Monitoring., XXVIII(2), pp.153–160.
- [2] Alexandre, F. et al., 2017. Monitoramento da retificação de cerâmicas avançadas por meio de diafragmas piezelétricos de baixo custo. In 9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Joinville, SC, p. 10.
- [3] Badger, J., 2009. Factors affecting wheel collapse in grinding. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58(1), pp.307–310. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850609000936>.
- [4] Bianchi, E.C., Aguiar, P.R. & Silva, E.J., 2003. Advanced ceramics: evaluation of the ground surface (Cerâmicas avançadas?: avaliação da superfície polida). Cerâmica, 49, pp.174–177.
- [5] Deiva Nathan, R., Vijayaraghavan, L. & Krishnamurthy, R., 1999. In-process monitoring of grinding burn in the cylindrical grinding of steel. Journal of Materials Processing Technology, 91(1-3), pp.37–42.
- [6] Kaphle, M., 2012. Analysis of acoustic emission data for accurate damage assessment for structural health monitoring applications, p.2000.
- [7] Klocke, F., Brinksmeier, E. & Weinert, K., 2005. Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 54(2), pp.22–45.
- [8] Kwak, J. & Song, J., 2001. Trouble diagnosis of the grinding process by using acoustic emission signals. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 41(6), pp.899–913.
- [9] Liu, Q., Chen, X. & Gindy, N., 2006. Investigation of acoustic emission signals under a simulative environment of grinding burn. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46(3-4), pp.284–292.
- [10] Lopes, W.N. et al., 2017. Digital Signal Processing of Acoustic Emission Signals Using Power Spectral Density and Counts Statistic Applied to Single-Point Dressing Operation. IET Science, Measurement & Technology, p.15.
- [11] Martins, C.H.R., Aguiar, P.R. & Bianchi, E.C., 2014. Tool Condition Monitoring of Single-Point Dresser Using Acoustic Emission and Neural Networks Models. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 63(3), pp.667–679.
- [12] Saravanapriyan, S.N.A., Vijayaraghavan, L. & Krishnamurthy, R., 2001. On-line detection of grinding burn by integrated sensing. In Sicon/01. Sensors for Industry Conference. Proceedings of the First ISA/IEEE. Sensors

for Industry Conference (Cat. No.01EX459). IEEE, pp. 89-94. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/968505/>.

- [13] Yang, Z. & Yu, Z., 2013. Experimental study of burn classification and prediction using indirect method in surface grinding of AISI 1045 steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(9-12), pp.2439-2449.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize ESTEC to publish the paper in the conference proceedings. Neither ESTEC nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.