

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 18/01/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru



CARINE GONÇALVES TÁVORA

**DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA QUEIMA NO
PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DO AÇO SAE 1045
UTILIZANDO TRANSDUTOR PIEZOELÉTRICO E
PROCESSAMENTO DE SINAIS**

BAURU

2019

Carine Gonçalves Távora

**DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA QUEIMA NO
PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DO AÇO SAE 1045
UTILIZANDO TRANSDUTOR PIEZOELÉTRICO E
PROCESSAMENTO DE SINAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar

BAURU

2019

Távora, Carine Gonçalves.

Detecção e Localização da Queima no Processo de Retificação do Aço SAE 1045 utilizando Transdutor Piezoelétrico e Processamento de Sinais/ Carine Gonçalves Távora, 2019

58 f.

Orientador: Paulo Roberto de Aguiar

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019

1. Critério de Hinkley. 2. Monitoramento da Retificação. 3. Processos de Fabricação. 4. Transdutor Piezoelétrico. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CARINE GONÇALVES TÁVORA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 18 dias do mês de janeiro do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-graduação / FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. DANILO HERNANE SPATTI do(a) Departamento de Sistemas de Computação / Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação / USP, Prof. Dr. ANDRE LUIZ ANDREOLI do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CARINE GONÇALVES TÁVORA, intitulada **DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA QUEIMA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DO AÇO SAE 1045 UTILIZANDO TRANSDUTOR PIEZOELÉTRICO E PROCESSAMENTO DE SINAIS**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: ___ Aprovada ___. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR



Prof. Dr. DANILO HERNANE SPATTI



Prof. Dr. ANDRE LUIZ ANDREOLI



Dedico este trabalho a todos que lutam e são
resistência a desvalorização da pesquisa
científica no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida, por todas as bênçãos concedidas e por ter me permitido chegar até aqui.

Agradeço de uma forma bastante especial, ao professor Dr. Paulo Roberto de Aguiar, pela amizade, pela dedicação e pelo aprendizado. Sabemos o quanto cresci desde que entrei no Ladaps há 4 anos, pessoalmente e profissionalmente. Não posso deixar de lhe agradecer por ter permitido que tudo isto acontecesse e ter confiado no meu trabalho. Por ter sido um dos meus maiores incentivadores durante todo esse tempo.

Agradeço ao meu namorado Bruno Albuquerque de Castro, por ter sido meu abrigo em todos os momentos, pelos inúmeros conselhos e pelo apoio incondicional. Agradeço por ter podido contar com toda sua experiência no desenvolvimento de pesquisas científicas, você foi além de tudo, um revisor cuidadoso.

Aos meus pais, Carlos e Sônia e a minha irmã Carla, pela paciência, compressão, apoio e incentivos.

Aos meu colegas de laboratório, Felipe, Pedro, Wenderson, Fábio e Danilo e todos os outros colegas que por lá passaram, pelo empenho em ajudar e pelas parcerias desenvolvidas. Foi muito bom trabalhar com vocês.

Ao Martin, que desde a graduação, foi um amigo sincero e parceiro, até aqui foram muitos passos que caminhamos lado a lado.

Por fim, a todos que contribuíram com este trabalho e que sempre torceram por mim.

“Todas as vitórias ocultam uma renúncia.”

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

A retificação é um processo de usinagem amplamente aplicado na fabricação de produtos que exigem baixa tolerância e alta precisão dimensional. Um dos danos mais comuns que ocorre durante este processo é a queima do material, que altera as propriedades mecânicas da peça usinada, comprometendo suas especificações. Sendo assim, o monitoramento da queima no processo de retificação é vital para garantir um alto nível de qualidade, produtividade e repetitividade dos processos industriais. Neste cenário, este trabalho traz uma nova abordagem não destrutiva para a identificação e localização da queima em aço SAE 1045, com o objetivo de desenvolver um sistema confiável e robusto de monitoramento da retificação como alternativa aos métodos invasivos, por meio do uso de transdutores piezelétricos de baixo custo e de técnicas de processamento digitais de sinais baseadas no critério estatístico de Hinkley. Comparado aos testes tradicionais e invasivos, como os testes de microdureza e metalografia, concluiu-se que o critério de Hinkley tem alta eficácia e potencial para localizar o início da queima da peça uma vez que o erro na localização foi menor que 4%.

Palavras-chave: Critério de Hinkley, Monitoramento da Retificação, Processos de Fabricação, Transdutor Piezoelétrico.

ABSTRACT

Grinding is a machining process widely applied in the manufacture of products that require low tolerance and high dimensional accuracy. One of the most critical issues in this manufacturing process is the material burning phenomenon, which can lead the part to a total failure. Therefore, monitoring burning in the grinding process is vital to ensure a high level of quality, productivity and repeatability of industrial processes. In this sense, this article presents a new non-destructive approach for the onset location of burn in the SAE 1045 steel, aiming to develop a reliable and robust grinding monitoring system as an alternative to invasive methods. An experimental investigation was conducted by using low-cost piezoelectric diaphragms and feature extraction of the signals through Hinkley criterion. By comparing to the traditional and invasive tests such as microhardness measurements and metallographic analysis, it was concluded that the Hinkley criterion has a high effectiveness and potential to locate the onset of burning, once the error of the location was less than 4%.

Index Terms: Hinkley Criterion, Condition Monitoring, Manufacturing Processes, Piezoelectric Transducer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos da Retificação Plana (ALEXANDRE, 2017).	18
Figura 2 - O rebolo e sua estrutura.	19
Figura 3 - Representação da Profundidade de corte, velocidade de corte e velocidade da peça.	21
Figura 4 - Capacitor plano de placas paralelas utilizado para determinar as relações constitutivas de um piezelétrico (Fonte: Areny; Webster, 2000).	27
Figura 5 - Construção da cápsula piezelétrica de baixo custo.	29
Figura 6 - Representação esquemática do banco de ensaios.	31
Figura 7 - Banco de ensaio para testes experimentais.	32
Figura 8 - Modelo das medições de dureza realizadas na superfície das amostras.	34
Figura 9 - Esquema do Processamento de Sinais.	35
Figura 10 - Condições das Superfícies das peças de 1 a 8 do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de óxido de alumínio.	37
Figura 11 - Metalografia das 8 peças do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de óxido de alumínio.	38
Figura 12 - Microdureza Vickers para as peças 1 (sem queima) e 8 (com queima).	40
Figura 13 - Critério de Hinkley para as 8 peças do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de óxido de alumínio.	41
Figura 14 - Critério de Hinkley para a peça 1 (sem queima) e peça 8 (com queima).	42
Figura 15 - Critério de Hinkley (a) e Microdureza Vickers (b) para a peça 8.	44
Figura 16 - Condições das Superfícies das 6 peças do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de CBN.	45
Figura 17 - Metalografia das 6 peças do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de CBN.	46
Figura 18 - Microdureza Vickers para as peças 2 (sem queima) e 7 (com queima).	47
Figura 19 - Critério de Hinkley para as 6 peças do aço SAE 1045 retificadas com rebolo de CBN.	48
Figura 20 - Critério de Hinkley para a peça 2 (sem queima) e peça 7 (com queima).	49
Figura 21 - Critério de Hinkley (a) e Microdureza Vickers (b) para a peça 7.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições dos ensaios para o aço SAE 1045 com rebolo de Óxido de Alumínio. 33

Tabela 2 - Condições dos ensaios para o aço SAE 1045 com rebolo de CBN..... 36

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBN	Nitreto Cúbico de Boro
CCDM	Métrica do desvio do coeficiente de correlação
DFT	Transformada Discreta de Fourier
EA	Sensor de emissão acústica
PZT	Diafragma piezelétrico
RMSD	Desvio da raiz média quadrática.
HV	Dureza Vickers
a	Profundidade de corte [μm]
V_s	Velocidade de corte do rebolo [m/s]
V_w	Velocidade da peca [m/s]
Ud	Grau de recobrimento
Fa	Força axial [N]
S_{queima}	Posição de início da queima
t_{min}	Tempo de mínimo global da curva
S_N	Energia total do sinal
N	Tamanho do sinal
x	Sinal aqsitado

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa e Objetivos	15
1.2 Publicações Obtidas	16
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 O Processo de Retificação	17
2.1.1 O Rebolo	18
2.1.2 Profundidade de Corte (a)	20
2.1.3 Velocidade de Corte (vs)	20
2.1.4 Velocidade da Peça (vw)	20
2.2 O Fenômeno da Queima	21
2.3 Monitoramento do Processo de Retificação	22
2.4 Trabalhos Referentes ao Monitoramento da Queima na Retificação	24
2.5 Sensores Piezoelétricos	26
2.6 Nova abordagem baseado no Critério de Hinkley aplicado ao diagnóstico e localização da queima	29
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Banco de Ensaio	31
3.2 Caracterização da Superfície da Peça	33
3.3 Processamento Digital de Sinais	35
3.4 Método de Verificação	35
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Peças Retificadas com Rebolo de Óxido de Alumínio	37
4.1.1 Condição Aparente da Superfície da Peça	37
4.1.2 Metalografia	38
4.1.3 Microdureza	39

4.1.4 Critério de Hinkley.....	41
4.1.4.1 Detecção do Fenômeno da Queima	41
4.1.4.2 Localização do Fenômeno da Queima	42
4.2 Validação do Método Proposto por Rebolo CBN.....	45
4.2.1 Condição Aparente da Superfície da Peça	45
4.2.2 Metalografia	45
4.2.3 Microdureza	46
4.2.4 Critério de Hinkley.....	47
4.2.4.1 Detecção do Fenômeno da Queima	47
4.2.4.2 Localização do Fenômeno da Queima	48
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	51

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A retificação é um processo de usinagem amplamente aplicado na manufatura de produtos que exigem baixas tolerâncias, alta precisão dimensional aliados à significativa integridade superficial do material usinado (SINHA et al., 2016). No que condiz a alguns fatores intrínsecos, a retificação é caracterizada como um processo de elevado grau de complexidade e dinamicidade, devido ao número de variáveis que compõe as interações neste processo de manufatura. Este processo utiliza uma ferramenta denominada rebolo, a qual é constituída de grãos abrasivos unidos, aleatoriamente, por um ligante. Além da geometria indefinida do rebolo, outros fatores associados ao funcionamento da máquina retificadora e das condições de corte ocasionam um elevado grau de complexidade ao processo, refletindo no resultado final da peça retificada (AGARWAL; RAO, 2013; KLOCKE; BARTH; MATTFELD, 2016; KWAK; HA, 2004).

Tomando-se como base o fato de que a retificação é um processo situado no final da cadeia produtiva, o monitoramento e diagnóstico de falhas neste processo é de grande importância para a melhoria e redução de índices de perdas em diversos tipos de manufatura. Sendo assim, muitos estudos vêm sendo realizados na indústria e na academia, tendo como objetivo o desenvolvimento de técnicas de monitoramento automático tanto das condições deste processo quanto do produto gerado por este, de forma a se melhorar os índices de perdas, bem como os padrões de qualidade do produto.

Um dos problemas mais críticos na retificação é a queima do material, que surge quando o rebolo ou mesmo outros parâmetros do processo não se encontram devidamente ajustados. Esta avaria ocorre, pois, como este processo requer um alto nível de energia por unidade de volume de material removido, uma grande parte desta energia é convertida em calor que permanece concentrada na camada superficial da peça, resultando em um aumento localizado de temperatura (JIN; YI; PENG, 2016). Muitas vezes este aumento de temperatura produz uma mudança nas propriedades físico-químicas do material, suscitando a chamada queima do material. A queima produz alta rugosidade superficial, além de induzir o material ao endurecimento e a formação de tensões residuais em sua superfície, que culminam em danos a estrutura da peça, como o efeito de fadiga e a corrosão do material (DENKINA et al., 2016; YANG et al., 2014). Tal fato compromete de forma significativa a qualidade do processo, bem como as especificações originais do material usinado, incluindo, assim, um ônus significativo a toda cadeia produtiva. Portanto, o monitoramento da queima no processo de retificação é imprescindível para a garantia de um elevado grau de qualidade, produtividade e repetitividade

de processos industriais.

De forma geral, a queima pode ser observada visualmente pela formação de manchas de cor azulada na superfície do material, porém, são necessários testes mais elaborados para determinar se essa mudança de cor realmente condiz com a queima da peça e se realmente houveram alterações de sua microestrutura para compromete-la (RIBEIRO et al., 2017). Os métodos capazes de avaliar a microestrutura da peça, são chamados métodos diretos de monitoramento, esses métodos avaliam diretamente a condição da peça utilizando sensores ópticos e por isso demandam significativo tempo de análise e obtenção dos resultados, além de requererem a interrupção do processo para que uma amostra da peça seja avaliada.

Exemplos de métodos diretos de monitoramento que resultam em uma avaliação coerente e profunda do material estudado, são os testes de metalografia e dureza superficial que permitem a identificação e localização do início do fenômeno da queima com grande significância no diagnóstico. Entretanto, estas duas formas de monitoramento recaem sobre as desvantagens dos métodos diretos: demandam elevado custo, tempo de execução do estudo das condições do material e trata-se de processos totalmente invasivos, pois requerem amostras de parte da peça para ser analisada.

Por outro lado, uma outra forma de se monitorar o processo de retificação é por meio de métodos indiretos de monitoramento, que se valem de técnicas que utilizam sensores como EA, vibração, potência e força para correlacionar as condições do processo com os sinais elétricos fornecidos por esses sensores. A grande vantagem desses métodos é que, além de não se tratar de um método invasivo, o processo de retificação não necessita ser interrompido para análise (AGUIAR et al., 2017; ALEXANDRE et al., 2018; MARTINS et al., 2014a; NASCIMENTO LOPES et al., 2017; WARREN LIAO et al., 2007). Estes métodos também possibilitam que o monitoramento do processo de retificação se dê em tempo real, assim, torna possível a elaboração prévia de um diagnóstico de falhas para determinar o motivo da queima ter acontecido naquele instante de tempo.

Os métodos indiretos tem sido aplicados na literatura e em processos de fabricação utilizando os sensores de emissão acústica (EA). Vários trabalhos tem demonstrado que os sinais de emissão acústica (EA) podem fornecer condições da peça retificada que são críticas para o controle efetivo do processo, como por exemplo, a detecção da queima da peça (BATALOVIĆ et al., 2017; EUZEBIO et al., 2012; MARCHI et al., 2015; RIBEIRO et al., 2017). Porém, apesar de muito estudada, a técnica de emissão acústica no monitoramento da queima demanda o emprego de sensores com custo significativo, tornando limitado o uso desta técnica (CHEN; LIU, 2008). Neste cenário, o uso de transdutores piezelétricos tem sido alvo de várias pesquisas

neste campo, eles se caracterizam por serem de baixo custo, pequenos e leves (BAPTISTA; FILHO; INMAN, 2011). Outrossim, normalmente, os sensores industrializados têm um custo médio alto. Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo da aplicabilidade de diafragmas piezelétricos de baixo custo no monitoramento e localização da queima no processo de retificação.

Wang et al. (2001) propôs a detecção da queima por meio do uso dos sinais de emissão acústica bem como sua localização. No estudo, a localização da queima foi feita utilizando métricas de processamentos de sinais e sistemas inteligentes (redes neurais artificiais (RNA), taxa constante de falso alarme (CFAR) e desvio do valor médio (MVD)) que, além de exigir um significativo esforço computacional, requerem, como as redes neurais artificiais, um aprendizado supervisionado cuja solução muitas vezes não é generalizada. Ou seja, a rede neural treinada vale somente para aquele tipo de situação específica, alterações das condições como tamanho da peça ou tipo do material podem requerer o treinamento de outras redes. Além disso, o artigo em questão também não se valeu de outras técnicas como a metalografia e microdureza para validar seus resultados.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Sendo a retificação um processo de usinagem amplamente aplicado na manufatura de produtos que exigem baixas tolerâncias, o uso de técnicas não destrutivas para a identificação e localização de danos em materiais metálicos durante o processo é de extrema importância, garantindo a qualidade do produto final gerado. Aliada ao uso de uma técnica não destrutiva, a ferramenta apresentada neste trabalho, permite um estudo e um diagnóstico mais detalhado e, por isso, torna factível a otimização do processo de retificação, que resulta em melhorias na utilização de recursos, redução de erros e necessidade de retrabalho, quando a técnica é aplicada em processos em grande escala. Além disso, a técnica de diagnóstico de falhas apresentada pode ser facilmente empregada em sistemas embarcados utilizando um método de baixo custo, o que expande sua possibilidade de emprego em ambientes industriais.

Este trabalho apresentou uma nova abordagem para a identificação e localização do fenômeno da queima em aço SAE 1045 com a utilização de dois tipos de rebolos, com habilidades de corte diferentes. As diferentes agressividades do rebolo imprimem características diferentes ao processo, o que traz confiabilidade ao método aqui apresentado.

Por meio da comparação com ensaios tradicionais como os testes visuais, de microdureza e de metalografia, constatou-se que o critério de Hinkley possui grande eficácia e potencial para realizar, além da classificação da severidade da queima do material, a localização do início da avaria no aço. Adicionalmente, o critério de Hinkley mostrou-se um algoritmo de simples implementação, que envolve operações matemáticas básicas no processamento do sinal. É importante destacar que a nova metodologia apresentada neste trabalho foi elaborada com base nos sinais coletados de um sensor piezelétrico de baixo custo já avaliado na literatura e, portanto, imprime uma significativa contribuição tanto para a comunidade científica quanto para o setor industrial, além de abrir novos caminhos para trabalhos futuros.

Dentre as inúmeras pesquisas que podem ser desenvolvidas com base neste trabalho, surge a possibilidade de se aplicar o Critério de Hinkley em sistemas embarcados e até mesmo em outros tipos de materiais como em outros aços ou as cerâmicas. Além disso, há a possibilidade de desenvolver pesquisas referentes a classificação do grau da queima e sua severidade com base no Critério de Hinkley.

BIBLIOGRAFIA

A. MIČIETOVÁ, M. NESLUŠAN, R. ČEP, ET AL. Detection of grinding burn through the high and low frequency Barkhausen noise. **Tehnicki vjesnik - Technical Gazette**, v. 24, n. Supplement 1, maio 2017.

AGARWAL, S.; RAO, P. V. Predictive modeling of force and power based on a new analytical undeformed chip thickness model in ceramic grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 65, p. 68–78, 2013.

AGUIAR, P. R. et al. Estimating high precision hole diameters of aerospace alloys using artificial intelligence systems: a comparative analysis of different techniques. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 39, n. 1, p. 127–153, 2017.

AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C.; OLIVEIRA, J. F. G. A method for burning detection in grinding process using acoustic emission and effective electric power signals. **Manufacturing Systems**, v. 31, n. 3, p. 253–257, 2002.

ALEXANDRE, F. A. **Monitoramento Do Fenômeno De Queima No Processo De Retificação De Aços Por Meio De Sinais De Vibração E Análise De Tempo E Frequência**. [s.l.] UNESP, 2017.

ALEXANDRE, F. A. et al. Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel using AE and fuzzy model. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2018.

BAPTISTA, F. G.; FILHO, J. V.; INMAN, D. J. Sizing PZT Transducers in Impedance-Based Structural Health Monitoring. v. 11, n. 6, p. 1405–1414, 2011.

BATALOVIĆ, M. et al. Detection of grinding burn through the high and low frequency Barkhausen noise. **Tehnicki vjesnik - Technical Gazette**, v. 24, n. Supplement 1, p. 589–598, maio 2017.

BECZE, C. E. et al. High-speed five-axis milling of hardened tool steel. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 40, n. 6, p. 869–885, 2000.

BIANCHI, E. C. Análise do Comportamento de Rebolos Convencionais na retificação de aços frágeis e dúcteis. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. XIX, n. September, p. 410–425, 1997.

BOSHEH, S. S.; MATIVENGA, P. T. White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 2, p. 225–233, 2006.

CHEN, B.; LIU, J. Damage in carbon fiber-reinforced concrete, monitored by both electrical resistance measurement and acoustic emission analysis. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 11, p. 2196–2201, 2008.

CHEN, X.; GRIFFIN, J.; LIU, Q. Mechanical and thermal behaviours of grinding acoustic emission. v. 12, p. 184–199, 2007.

CHOU, Y. K.; EVANS, C. J. White layers and thermal modeling of hard turned surfaces. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 39, n. 12, p. 1863–1881, 1999.

ČILLIKOVÁ, M. et al. Nondestructive Magnetic Monitoring of Grinding Damage. **Procedia Materials Science**, v. 12, p. 54–59, 2016.

DE CASTRO, B. A. et al. Assessment of Macro Fiber Composite Sensors for Measurement of Acoustic Partial Discharge Signals in Power Transformers. **IEEE Sensors Journal**, v. 17, n. 18, p. 6090–6099, set. 2017.

DENKENA, B. et al. Design of bronze-bonded grinding wheel properties. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 1, p. 333–336, 2016.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 4^a ed. Campinas, SP: Artiber Editora Ltda, 2003.

EUZEBIO, C. D. G. et al. Monitoring of grinding burn by fuzzy logic. **ABCMS Symposium Series in Mechatronics**, v. 5, p. 637–645, 2012.

GIRAULT, E. et al. Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels. **Materials Characterization**, v. 40, n. 97, p. 111–118, 1998.

GRIFFIN, J. M.; CHEN, X. Multiple classification of the acoustic emission signals extracted during burn and chatter anomalies using genetic programming. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 45, n. 11–12, p. 1152–1168, 9 dez. 2009.

GRIFFITHS, B. The Manufacturing Process Unit Event. In: **Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity and Functional Performance**. [s.l.: s.n.]. p. 30–69.

IEEE STANDARD ON PIEZOELECTRICITY. **An American National Standard** IEEE-ANSI New York, 1987.

JIN, T.; YI, J.; PENG, S. Determination of burn thresholds of precision gears in form grinding based on complex thermal modelling and Barkhausen noise measurements. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, n. mm, 2016.

KLOCKE, F.; BARTH, S.; MATTFELD, P. High Performance Grinding. **Procedia CIRP**, v. 46, p. 266–271, 2016.

KWAK, J. S.; HA, M. K. Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 147, n. 1, p. 65–71, 2004.

LIU, Q.; CHEN, X.; GINDY, N. Fuzzy pattern recognition of AE signals for grinding burn. v. 45, p. 811–818, 2005.

LIU, Q.; CHEN, X.; GINDY, N. Investigation of acoustic emission signals under a simulative environment of grinding burn. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 3–4, p. 284–292, 2006.

MALKIN, S.; GUO, C. **Theory and Applications of Machining with Abrasives**. 2^a ed. New York: Society of Manufacturing Engineers, 2008.

MALKIN, S. Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives. **Society of Manufacturing Engineers**, 1989.

MARCHI, M. et al. Grinding process monitoring based on electromechanical impedance measurements. **Measurement Science and Technology**, v. 26, n. 4, p. 45601, 2015.

MARCHI, M. **Uma aplicação do método de impedância eletromecânica na detecção da queima no processo de retificação plana**. Bauru: [s.n.].

MARINESCU, I. et al. **Handbook of Machining with Grinding Wheels**. [s.l: s.n.].

MARKALOUS, S.; TENBOHLEN, S.; FESER, K. Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 15, n. 6, p. 1576–1583, dez. 2008.

MARTINS, C. H. R. et al. Tool Condition Monitoring of Single-Point Dresser Using Acoustic Emission and Neural Networks Models. **IEEE Transactions on Instrumentation and**

Measurement, v. 63, n. 3, p. 667–679, 2014a.

MARTINS, C. H. R. et al. Tool condition monitoring of single-point dresser using acoustic emission and neural networks models. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 63, n. 3, p. 667–679, 2014b.

MEITZLER, A. H. **IEEE standard on piezoelectricity: an american national standard**. New York IEEE-ANSI, , 1987.

MIRANDA, H. I. C. et al. **Fuzzy Logic to Predict Thermal Damages of Ground Parts**. Artificial Intelligence and Applications. **Anais...** Calgary, AB, Canada: ACTAPRESS, 2010 Disponível em: <<http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?paperId=37738>>

MURATA MANUFACTURING CO. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.murata.com>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

NAKAI, M. E. et al. Evaluation of neural models applied to the estimation of tool wear in the grinding of advanced ceramics. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 20, p. 7026–7035, 2015.

NASCIMENTO LOPES, W. 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 & Technology**, v. 11, n. 5, p. 631–636, 2017.

NESLUŠAN, M. et al. Monitoring of grinding burn via Barkhausen noise emission in case-hardened steel in large-bearing production. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 240, p. 104–117, 2017.

NETO, R. F. G. et al. Monitoring of Grinding Burn by AE and Vibration Signals. **Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence**, p. 272–279, 2014.

RAMESH, A. et al. Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 390, n. 1–2, p. 88–97, 2005.

RIBEIRO, D. M. S. et al. Spectra Measurements Using Piezoelectric Diaphragms to Detect Burn in Grinding Process. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 66, n. 11, p. 3052–3063, nov. 2017.

ROBLES, G.; FRESNO, J. M.; MARTÍNEZ-TARIFA, J. M. Separation of radio-frequency

sources and localization of partial discharges in noisy environments. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 5, p. 9882–9898, 2015.

SCOTT, D. A. **Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals**. [s.l.: s.n.]. v. 16

SHARMAN, A. R. C.; AMARASINGHE, A.; RIDGWAY, K. Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 200, n. 1–3, p. 424–432, 2008.

SHAW, M. C.; VYAS, A. Heat-Affected Zones in Grinding Steel. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 43, n. 1, p. 279–282, 1994.

SILVA DE FREITAS, E.; GUIMARÃES BAPTISTA, F. Experimental analysis of the feasibility of low-cost piezoelectric diaphragms in impedance-based SHM applications. **Sensors and Actuators, A: Physical**, v. 238, p. 220–228, 2016.

SINHA, M. K. et al. An investigation on surface burn during grinding of Inconel 718. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 21, p. 124–133, 2016.

SPADOTTO, M. M. et al. **Classification of Burn Degrees in Grinding by Neural Nets Artificial Intelligence and Applications** ACTA Press, , 2008.

TETI, R. et al. Advanced monitoring of machining operations. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 59, n. 2, p. 717–739, 2010.

THANEDAR, A. et al. Surface integrity investigation including grinding burns using barkhausen noise (BNA). **Journal of Manufacturing Processes**, v. 30, p. 226–240, 2017.

TIAN, Y. B. et al. Development of portable power monitoring system and grinding analytical tool. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 27, p. 188–197, 2017.

WALTON, I. M.; STEPHENSON, D. J.; BALDWIN, A. The measurement of grinding temperatures at high specific material removal rates. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 12–13, p. 1617–1625, 2006.

WANG, Z. et al. Neural network detection of grinding burn from acoustic emission. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 41, n. 2, p. 283–309, 2001.

WARREN LIAO, T. et al. A wavelet-based methodology for grinding wheel condition monitoring. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 47, n. 3–4, p.

580–592, 2007.

YANG, Z. et al. Application of Hilbert-Huang Transform to acoustic emission signal for burn feature extraction in surface grinding process. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 47, n. 1, p. 14–21, 2014.

YANG, Z.; YU, Z. Experimental study of burn classification and prediction using indirect method in surface grinding of AISI 1045 steel. p. 2439–2449, 2013.