



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU**

**BRUNO KENTA SATO**

**IMPACTO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NO FLUIDO DE CORTE APLICADO  
PELA TÉCNICA DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE NA  
RETIFICAÇÃO**

**BAURU**

**2021**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



BRUNO KENTA SATO

**IMPACTO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NO FLUIDO DE CORTE APLICADO PELA  
TÉCNICA DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE NA RETIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Processos de fabricação

Orientador: Prof. Eduardo Carlos Bianchi.  
Coorientador: Prof. José Claudio Lopes

**BAURU**  
**2021**

Sato, Bruno Kenta

Impacto da adição de água no fluido de corte aplicado pela técnica de mínima quantidade de lubrificante na retificação / Bruno Kenta Sato - Bauru 2021

26 p.

Orientador: Eduardo Carlos Bianchi

Coorientador: José Claudio Lopes

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2021

1.Retificação. 2. Sustentabilidade. 3. Mínima Quantidade de Lubrificante 4. Adição de água 5. Sistema de limpeza com ar comprimido. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de BRUNO KENTA SATO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 27 dias do mês de maio do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de BRUNO KENTA SATO, intitulada **IMPACTO DA ADIÇÃO DE ÁGUA NO FLUIDO DE CORTE APLICADO PELA TÉCNICA DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE NA RETIFICAÇÃO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ALESSANDRO ROGER RODRIGUES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade de São Paulo / USP - São Carlos, Prof. Dr. CESAR RENATO FOSCHINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi  
Departamento de Engenharia Mecânica  
2021-2021

Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI

Aos meus antepassados que me deram a oportunidade de existir e conseqüentemente escrever o trabalho. Meus pais, Keiko e Luiz, em que tenho pleno orgulho pelo esforço e dedicação que tiveram na educação dos filhos. Kaori pela compreensão e paciência durante o período de elaboração deste trabalho

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Luiz Kenji Sato e Keiko Morigaki Sato por todo apoio e incentivos durante o período de formação acadêmica, moral e profissional, sem vocês isso não seria possível. Sou grato às minhas irmãs Yasmin Rye Morigaki Sato e Larissa Yunna Morigaki Sato pela felicidade proporcionada.

Agradeço a Kelly Kaori Moraoka pelo amor e carinho que foi concedido durante nossa jornada. Além de todo apoio e compreensão dado durante a realização do trabalho.

Agradeço ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UNESP Bauru por propiciar as condições necessárias para realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi e Prof. Me. José Claudio Lopes agradeço de coração por todo o suporte fornecido durante o período de graduação e pós-graduação, foi de extrema importância para esse trabalho. Ressalto, minha admiração e carinho pelo vosso sucesso.

Agradeço a todos os docentes que fizeram parte da minha formação acadêmica. Professores são essenciais para nos educar e transmitir o conhecimento já adquirido pelas gerações passadas, vocês são a base para uma sociedade de sucesso.

À equipe técnica da UNESP meus sinceros agradecimentos, Hélio Aparecido de Souza pelo suporte durante os experimentos práticos e pelo conhecimento repassado, Dr. Hamilton José de Mello pelos conhecimentos teórico e prático transmitidos e pelas lições de vida ensinadas.

A todos os integrantes do Laboratório de Usinagem por Abrasão pelo companheirismo e auxílio durante a realização da pesquisa.

*“Pense o que quiser  
Faça o que quiser  
Mas não culpe os outros pelos seus resultados”  
(Autor desconhecido)*

## RESUMO

A sustentabilidade está entre os principais temas do século XXI. A crescente busca pela redução dos impactos ambientais surgiu pela necessidade de preservação dos recursos naturais. Entende-se que a metodologia tradicional de lubrificação, aplicada nos processos de usinagem, é prejudicial ao meio ambiente, saúde humana e representa uma porcentagem significativa dos custos do processo. A técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante, desenvolvida para contornar essas desvantagens, demonstrou grande eficácia nos processos de usinagem com geometria definida. No entanto, limitações ocorrem durante sua aplicação no processo de retificação, visto que o mesmo necessita de alta refrigeração e limpeza da superfície de corte do rebolo, fatores em que a técnica de MQL é deficiente. Dessa forma, novas tecnologias devem ser desenvolvidas para possibilitar a aplicação da técnica na retificação. A adição de água no fluido de corte aplicado pela técnica de MQL tem a proposta de melhorar a refrigeração e lubrificação com baixo custo, além de minimizar os impactos ambientais. A aplicação do jato de ar em alta velocidade sobre a superfície de corte do rebolo possui o objetivo de aumentar a taxa de remoção de cavacos da superfície de corte do rebolo. A eficiência dessas tecnologias foi avaliada pela retificação do aço ABNT 4340 temperado e revenido utilizando rebolo de CBN com ligante vitrificado. Imagens de MEV e EDS da superfície de corte do rebolo auxiliaram no monitoramento do empastamento. A rugosidade média aritmética e desvios de circularidade foram os parâmetros para determinação da qualidade das peças; e a análise do cavaco auxiliou na determinação dos mecanismos de remoção de material. A adição de água na técnica de MQL reduziu a rugosidade superficial, minimizou os defeitos superficiais e melhorou a precisão geométrica do processo. O sistema de limpeza foi benéfico para a qualidade das peças, reduzindo em 35% a rugosidade superficial e 6% no erro de circularidade.

Palavras-chave: Retificação, Sustentabilidade, Mínima Quantidade de Lubrificante, Adição de água, Sistema de limpeza com ar comprimido.



## ABSTRACT

Sustainability is one of the most discussed topics of the century. The number of investigations to minimize the environmental impacts have been increasing by the necessity of natural resources preservation. The conventional methodology of lubri-refrigeration utilized on the machining process is prejudicial to the environment, harm to human healthy and it represents high percentage of industrial costs. The development of Minimum Quantity of Lubrication technique emerged to overcome the disadvantages of conventional application of cutting fluids. The MQL provided satisfactory results during its application on turning, drilling and milling, however, its application on grinding is difficult, since this process generates great amount of heat and it demands efficiency on the chips removal out of the tool cutting surface. Therefore, new technologies have to be developed to success on the MQL application on grinding. The addition of water on the cutting fluid of MQL technique proposes the improvement on the cooling effect of the technique with low costs and minimizing the environmental impacts, furthermore, the application of high-speed jet of air on the cutting surface has as goal rise the rate of chips being expelled out of the process. The efficiency of these technologies is going to be measured machining the AISI 4340 steel quenched and tempered, using CBN grinding wheel with vitrified bond. Images of SEM and EDS of the grinding wheel cutting surface supported on the clogging evaluation, the surface roughness and the roundness errors determined the workpiece quality, and the analysis of the chips assists the definition of the mechanism of material removal. The addition of water on the MQL technique improved the surface roughness and it ameliorate the superficial defects occurrence and geometric accuracy. The wheel cleaning system improved the workpiece quality, since it reduced in 35% the surface roughness and 6% the roundness error.

**Keywords:** Grinding process, Sustainability, Minimum Quantity of Lubrication, Addition of water, Wheel cleaning system with compressed air.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Motivação .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2. RELATO .....</b>	<b>20</b>
<b>3 ESTRUTURA DO ARTIGO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Resumo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Introdução .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Procedimentos experimentais.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Resultados e discussão.....</b>	<b>21</b>
3.4.1 Entendendo o empastamento do rebolo .....	21
3.4.2 Influência da adição de água no MQL no empastamento do rebolo .....	21
3.4.3 Consequências do empastamento do rebolo.....	21
<b>3.5 Conclusão .....</b>	<b>21</b>
<b>4 CITAÇÃO DO ARTIGO .....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A retificação é um processo de usinagem de geometria não definida aplicada usualmente nas últimas etapas da fabricação de uma peça. Reconhecida como um processo de acabamento, a retificação tem o objetivo atingir alta precisão e pequenas tolerâncias. Tal processo utiliza como ferramenta: o rebolo, que é comumente composta pelo ligante que fixa e mantém os grãos abrasivos distribuídos uniformemente e aleatoriamente no volume do rebolo; os grãos abrasivos, que realizam a remoção do material; a porosidade que auxilia na entrada de fluido de corte e alojamento de cavacos. É um processo que intrinsecamente apresenta uma elevada energia específica, transformando grande parte da energia consumida em calor (MACEROL; FRANCA; KRAJNIK, 2020).

Tal fato implica em altos esforços térmicos sobre a peça, devido ao elevado fluxo de calor sobre o material quando não dissipado por métodos auxiliares de lubrificação. Com isso, o material é aquecido a temperaturas suficientemente altas para causar alterações microestruturais, alterar suas propriedades físicas, trincas, tensão residual, baixa qualidade superficial e precisão geométrica (JAVARONI et al., 2020a).

Atualmente a aplicação de fluido de corte em abundância é o principal método de lubrificação utilizado. Tem o objetivo de dissipar o calor da zona de corte, reduzir o atrito entre ferramenta e peça, remover o cavaco da zona de corte, limpar a superfície de corte do rebolo e minimizar a corrosão. No entanto, a utilização dessa substância apresenta graves desvantagens: causa problemas de saúde, poluição ambiental e aumento no custo do processo (AZARHOUSHANG; DANESHI; LEE, 2017).

As desvantagens do fluido de corte motivaram as comunidades científica e industrial a procurarem alternativas para minimizarem e até eliminarem a utilização do mesmo. Dessa forma, surgiram novas metodologias para minimizar a geração de calor, dissipar calor e lubrificar a zona de contato visando a sustentabilidade do processo. A aplicação do termo “sustentabilidade” na área de usinagem está correlacionada com a aplicação de métodos e materiais que não afetem a saúde humana e sistemas ecológicos. Para isso os materiais utilizados no processo devem possuir formulação inofensiva para o ser humano e meio ambiente ter um ciclo de uso e descarte acessível financeiramente (WICKRAMASINGHE et al., 2020).

A técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) foi desenvolvida em 1996 por W. D. Hewson and G. K. Gerow, com o intuito de reduzir ao máximo a quantidade de fluido de corte utilizado nos processos de usinagem, de modo a eliminar as preocupações e custos com

o descarte dessa substância. Para atingir eficiência de processos e garantir a integridade do operador e meio ambiente a técnica de MQL aplica o fluido de corte em pequenas gotículas na zona de corte para criar um filme entre a superfície de corte e a peça que promovem lubrificação adequada, garantindo a integridade do material e qualidade do processo (WANG et al., 2016; HAMRAN et al., 2020; SINGH et al., 2020).

Brockhoff e Walter (1998) iniciaram a aplicação da técnica de MQL na retificação. Nesse processo, o MQL apresenta a vantagem de penetrar eficientemente na barreira aerodinâmica que se forma ao redor do rebolo, com isso o efeito lubrificante proporcionado pela técnica é eficaz. No entanto, estudos recentes demonstraram limitações do MQL na retificação em termos de refrigeração e remoção de cavaco que resultam em danos térmicos à peça, baixa precisão e ocorrência de empastamento do rebolo (AWALE; VASHISTA; KHAN YUSUFZAI, 2020; JAVARONI et al., 2020b).

Com o intuito de viabilizar a utilização da técnica de MQL na retificação de forma sustentável, a pesquisa vislumbrou duas metodologias para melhorar o efeito refrigerante e aumentar a remoção de cavaco da técnica. Para aumentar a refrigeração foi avaliado a adição de água em grandes proporções ao fluido de corte com o intuito de minimizar ainda mais sua utilização e dissipar maior quantidade de calor durante sua evaporação. Para aumentar a taxa de remoção de cavaco utilizou-se um método auxiliar, nomeado de sistema de limpeza por ar comprimido, que consiste na aplicação de um jato de ar comprimido em alta pressão sobre a superfície de corte do rebolo.

## **1.1 Motivação**

No estudo bibliográfico realizado nas plataformas Scopus, Google Scholar, Science Direct e outros, visualizou-se as vantagens e oportunidades de melhoria da aplicação da técnica de MQL na retificação. Atualmente o MQL apresenta baixa refrigeração e limpeza da superfície de corte insuficiente, desvantagens que impedem sua aplicação no processo de retificação, dessa forma, esse estudo visa melhorar o desempenho do MQL nesse processo.

A otimização dos processos, reduzindo os custos e melhorando sua qualidade, é necessária para a sobrevivência de uma companhia. Além disso, leis, regulamentações e pressões sociais obrigam as empresas a buscarem a sustentabilidade em suas cadeias produtivas. Visto que o fluido de corte se opõe totalmente a esses princípios (alto custo de operação, prejudicial à saúde humana e altamente poluente ao meio ambiente) a busca por minimizar ou até mesmo eliminar sua utilização é constante.

Embora existam diversos estudos na área a respeito da aplicação da técnica de MQL na retificação, ainda existem pontos a serem melhorados para o tornar eficaz no processo de retificação. O MQL foi desenvolvido com o intuito de proporcionar maior lubrificação possível com menor quantidade de lubrificante sendo eficiente em processos de geometria definida como torneamento e furação; já na retificação, o MQL não atende as demandas de refrigeração e remoção de cavaco, limitando sua utilização nesses processos.

O estudo, de maneira inédita, desenvolveu metodologias simples, sustentáveis e eficazes para elevar os resultados do MQL na retificação ao nível da refrigeração em abundância, proporcionando para a sociedade uma alternativa sustentável e eficiente, além de abrir novos caminhos de pesquisa para as metodologias de lubrirrefrigeração.

## **1.2 Objetivo geral**

Estudar os benefícios da adição de água na técnica de MQL aplicados na retificação aliado com o sistema de limpeza com ar comprimido.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Qualificar o fenômeno de empastamento da superfície de corte do rebolo: causa, surgimento, evolução e impactos.
- Determinar o desempenho da adição de água no fluido utilizado na técnica de MQL durante a retificação do aço ABNT 4340 temperado e revenido.
- Averiguar a eficiência do processo de limpeza com ar comprimido para minimizar os efeitos negativos do empastamento da superfície de corte do rebolo.

## **2. RELATO**

O artigo intitulado “Toward sustainable grinding using minimum quantity lubrication technique with diluted oil and simultaneous wheel cleaning”, foi publicado na revista Tribology International (ISSN: 0301-679X), cujo fator de impacto é 4,271 (em 04/2021) e classificação Qualis A1, publicado 20 de fevereiro de 2020 o artigo divulga os resultados obtidos pelo projeto de pesquisa “Impacto da adição de água no fluido de corte aplicado pela técnica de mínima quantidade de lubrificante na retificação”.

## **3 ESTRUTURA DO ARTIGO**

A publicação intitulada “Toward sustainable grinding using minimum quantity lubrication technique with diluted oil and simultaneous wheel cleaning” é composta por cinco seções.

### **3.1 Resumo**

Apresenta o tema principal do projeto, sua justificativa e quais foram os principais resultados obtidos.

### **3.2 Introdução**

Nessa seção são apresentados os principais envolvidos na pesquisa:

- Problemas causados pelos fluidos de corte
- Mínima Quantidade de Lubrificante
- Obstáculos da aplicação de MQL na retificação
- Objetivos da pesquisa.

### **3.3 Procedimentos experimentais**

Apresenta os equipamentos e metodologia utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Nessa seção estão as informações necessárias para que a pesquisa possa ser replicada.

- Dados da máquina;
- Geometria e material utilizados nos corpos de prova;
- Parâmetros da remoção de material;
- Métodos e equipamentos de lubrificação;
- Método e equipamentos do sistema de limpeza por ar comprimido;
- Metodologia e equipamentos utilizados na medição dos parâmetros de saída.

### **3.4 Resultados e discussão**

Apresenta os resultados obtidos na pesquisa, bem como as explicações dos mesmos.

#### **3.4.1 Entendendo o empastamento do rebolo**

Apresenta imagens de MEV (microscopia eletrônica de varredura) e EDS (Espectrometria por energia dispersiva) da superfície de corte do rebolo com o intuito de entender a formação e ocorrência do empastamento do rebolo. Além disso, são apresentadas as imagens do microscópio confocal da superfície de corte do rebolo e imagens de MEV dos cavacos coletados em cada condição de lubrificação.

#### **3.4.2 Influência da adição de água no MQL no empastamento do rebolo**

Neste tópico são apresentados os resultados da quantificação do empastamento com base na contagem de pixels do elemento ferro nas imagens de EDS da superfície de corte do rebolo e a variação da viscosidade do fluido causada pelo aumento da proporção de água no mesmo. Esses dois resultados foram utilizados para verificar o impacto que a adição de água no fluido de corte utilizado pela técnica de MQL tem no empastamento do rebolo.

#### **3.4.3 Consequências do empastamento do rebolo**

Os parâmetros analisados para a qualidade do produto final foram a rugosidade superficial, morfologia da superfície usinada e desvios de circularidade. Combinados com a quantificação do empastamento de rebolo, os parâmetros da qualidade do produto evidenciam os impactos negativos que o empastamento ocasiona no processo de retificação.

### **3.5 Conclusão**

Apresenta os conhecimentos adquiridos com a retificação do aço ABNT 4340 temperado e revenido com rebolo de CBN, utilizando refrigeração convencional e a técnica de MQL com diferentes proporções de água.

#### 4 PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Nesta seção são apresentados os artigos produzidos durante o período matriculado como aluno regular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

SATO, B. K., LOPES, J. C., DINIZ, A. E., RODRIGUES, A. R., MELLO, H. J., SANCHES, L. E. A., AGUIAR, P. R., BIANCHI E. C. Toward sustainable grinding using minimum quantity lubrication technique with diluted oil and simultaneous wheel cleaning. **Tribology International**, p. 106-276, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106276>

SATO, B. K., LOPES, J. C., RODRIGUEZ, R. L., GARCIA, M. V., RIBEIRO, F. S. F., AGUIAR, P. R., BIANCHI, E. C. Eco-friendly manufacturing towards the industry of the future with a focus on less cutting fluid and high workpiece quality applied to the grinding process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2021 <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06650-1>

TALON, A. G., LOPES, J. C., SATO, B. S., TAVARES, A. B., RIBEIRO, F. S. F., GENOVEZ, M. C., PINTO, T. A. D., MELLO, H. J., AGUIAR, P. R., BIANCHI E. C. Grinding performance of hardened steel: a study about the application of different cutting fluids with corrosion inhibitor. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p 2741- 2754, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05598-y>



## 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pela retificação do aço ABNT 4340 temperado e revenido com rebolo de CBN sobre diferentes condições de lubrificação, as seguintes conclusões são apresentadas:

- O fenômeno de empastamento é intrínseco do processo de retificação e possui 3 fases: alojamento, compactação e aderência. Os estágios são acumulativos e progressivos, os efeitos negativos do empastamento são intensificados com o aumento da severidade do fenômeno.
- A adição de água na técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante reduziu a ocorrência do empastamento do rebolo. A condição de 83% de água no fluido de MQL apresentou uma redução de 60% no empastamento em comparação à utilização de óleo sintético no MQL.
- O empastamento do rebolo afetou negativamente a qualidade superficial da peça. A análise da morfologia da superfície da peça apresentou defeitos de “Side Flow” nas amostras as quais o fenômeno de empastamento apresentou maior severidade. Nesse estágio, o mecanismo de remoção de material é predominantemente deformação plástica visto que a aresta de corte não penetra suficientemente para iniciar o processo de formação de cavaco.
- O desvio de circularidade aumenta com a severidade do empastamento da ferramenta. Com a adição de água o desvio de circularidade melhorou, visto que a proporção de água demonstrou resultados comparáveis com a refrigeração convencional.
- A adição de água no fluido de corte utilizado pela técnica de MQL reduziu a ocorrência do empastamento e melhorou a qualidade do processo. Além disso, maiores proporções de água reduzem o consumo de óleo sintético, tornando a técnica mais sustentável.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o conhecimento adquirido durante o desenvolvimento da pesquisa segue algumas sugestões de trabalhos futuros para expansão do conhecimento acerca da adição de água na técnica de MQL.

- Extrapolar proporção de água no fluido de corte para determinação da maior proporção de água possível de ser aplicada na retificação. Plotar curva de parâmetros de saída x porcentagem de água no fluido de corte (variando de 0 a 100%).
- Avaliar o impacto da adição de água em outros fluidos de corte, como óleos vegetais e nanofluidos.
- Desenvolver mecanismos para quantificar a capacidade de lubrificação e refrigeração provida pelo MQL
- Aplicar campo eletromagnético na zona de corte, com o intuito de atrair cavacos e potencializar o efeito refrigerante do fluido de corte
- Construir simulação computacional capaz de reproduzir a dinâmica entre os componentes envolvidos e entender a fundo todos os impactos que a lubrificação, refrigeração e empastamento do rebolo na retificação.
- Ampliar os parâmetros de saída analisados para maior compreensão dos efeitos da adição de água na retificação. Entre os parâmetros sugeridos estão: difração de raio-x (determinação das tensões residuais), microscopia de força atômica (para verificação do atrito), utilização de dinamômetro (para monitorar a capacidade de lubrificação do processo) e termopares (com o intuito de analisar as temperaturas que o material é submetido).

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, F. A.; LOPES, J. C.; DE MARTINI FERNANDES, L.; RIBEIRO, F. S. F.; FERNANDEZ, B. O.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE OLIVEIRA, R. F. M.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Depth of dressing optimization in CBN wheels of different friabilities using acoustic emission (AE) technique. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 106, n. 11–12, p. 5225–5240, 2020.
- ALEXANDRE, F. A.; LOPES, W. N.; LOFRANO DOTTO, F. R.; FERREIRA, F. I.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C.; LOPES, J. C. 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.
- ARDASHEV, D. V. Photometric Analysis of Chips after Grinding Different Steel. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 150, p. 702–706, 2016.
- AWALE, A. S.; VASHISTA, M.; KHAN YUSUFZAI, M. Z. Multi-objective optimization of MQL mist parameters for eco-friendly grinding. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 56, p. 75–86, 2020.
- AZARHOUSHANG, B.; DANESHI, A.; LEE, D. H. Evaluation of thermal damages and residual stresses in dry grinding by structured wheels. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p. 1922–1930, 2017.
- BENEDICTO, E.; CAROU, D.; RUBIO, E. M. Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. In: **PROCEDIA ENGINEERING 2017, Anais...** [s.l: s.n.]
- BIANCHI, E. C.; RODRIGUEZ, R. L.; HILDEBRANDT, R. A.; LOPES, J. C.; DE MELLO, H. J.; DA SILVA, R. B.; DE AGUIAR, P. R. Plunge cylindrical grinding with the minimum quantity lubrication coolant technique assisted with wheel cleaning system. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 95, n. 5–8, p. 2907–2916, 2018.
- BIANCHI, E. C.; RODRIGUEZ, R. L.; HILDEBRANDT, R. A.; LOPES, J. C.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; DA SILVA, R. B.; JACKSON, M. J. Application of the auxiliary wheel cleaning jet in the plunge cylindrical grinding with Minimum Quantity Lubrication technique under various flow rates. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, [s. l.], v. 233, n. 4, p. 1144–1156, 2019.
- BIANCHI, E. C.; SATO, B. K.; SALES, A. R.; LOPES, J. C.; DE MELLO, H. J.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DINIZ, A. E.; AGUIAR, P. R. Evaluating the effect of the compressed air wheel cleaning in grinding the AISI 4340 steel with CBN and MQL with water. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 95, n. 5–8, p. 2855–2864, 2018.

BRINKSMEIER, E.; MEYER, D.; HUESMANN-CORDES, A. G.; HERRMANN, C. Metalworking fluids - Mechanisms and performance. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 605–628, 2015.

BROCKHOFF, T.; WALTER, A. Fluid minimization in cutting and grinding. **Abrasives**, 1998.

CAMERON, A.; BAUER, R.; WARKENTIN, A. An investigation of the effects of wheel-cleaning parameters in creep-feed grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 126–130, 2010.

DA SILVA, A. E.; LOPES, J. C.; DANIEL, D. M.; DE MORAES, D. L.; GARCIA, M. V.; RIBEIRO, F. S. F.; DE MELLO, H. J.; SANCHEZ, L. E. D. A.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Behavior of austempered ductile iron (ADI) grinding using different MQL dilutions and CBN wheels with low and high friability. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], p. 1–15, 2020.

DANIEL, D. M.; ÁVILA, B. N.; GARCIA, M. V.; LOPES, J. C.; RIBEIRO, F. S. F.; DE MELLO, H. J.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding comparative between ductile iron and austempered ductile iron under CBN wheel combined to abrasive grains with high and low friability. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], 2020.

DE MARTINI FERNANDES, L.; LOPES, J. C.; RIBEIRO, F. S. F.; GALLO, R.; RAZUK, H. C.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE AGUIAR, P. R.; DE MELLO, H. J.; BIANCHI, E. C. Thermal model for surface grinding application. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 104, n. 5, p. 2783–2793, 2019.

DE MARTINI FERNANDES, L.; LOPES, J. C.; VOLPATO, R. S.; DINIZ, A. E.; DE OLIVEIRA, R. F. M.; DE AGUIAR, P. R.; DE MELLO, H. J.; BIANCHI, E. C. Comparative analysis of two CBN grinding wheels performance in nodular cast iron plunge grinding. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 98, n. 1–4, p. 237–249, 2018.

DE MELLO, H. J.; DE MELLO, D. R.; RODRIGUEZ, R. L.; LOPES, J. C.; DA SILVA, R. B.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; HILDEBRANDT, R. A.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Contribution to cylindrical grinding of interrupted surfaces of hardened steel with medium grit wheel. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 95, n. 9–12, p. 4049–4057, 2018.

DE MORAES, D. L.; GARCIA, M. V.; LOPES, J. C.; RIBEIRO, F. S. F.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; FOSCHINI, C. R.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Performance of SAE 52100 steel grinding using MQL technique with pure and diluted oil. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 105, n. 10, p. 4211–4223, 2019.

DEBNATH, S.; REDDY, M. M.; YI, Q. S. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining : a review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 83, p. 33–47, 2014.

DEMIRBAS, E.; KOBYA, M. Operating cost and treatment of metalworking fluid wastewater by chemical coagulation and electrocoagulation processes. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 105, p. 79–90, 2017.

DORNFELD, D. A. Moving towards green and sustainable manufacturing. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 63–66, 2014.

GARCIA, M. V.; LOPES, J. C.; DINIZ, A. E.; RODRIGUES, A. R.; VOLPATO, R. S.; SANCHEZ, L. E. de A.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding performance of bearing steel using MQL under different dilutions and wheel cleaning for green manufacture. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 257, p. 120376, 2020.

GOPAN, V.; WINS, K. L. D. Quantitative Analysis of Grinding Wheel Loading Using Image Processing. **Procedia Technology**, [s. l.], v. 25, p. 885–891, 2016.

HADAD, M. An experimental investigation of the effects of machining parameters on environmentally friendly grinding process. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 108, p. 217–231, 2015.

HADAD, M. J.; TAWAKOLI, T.; SADEGHI, M. H.; SADEGHI, B. Temperature and energy partition in minimum quantity lubrication-MQL grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 54–55, p. 10–17, 2012.

HADAD, M.; SADEGHI, B. Thermal analysis of minimum quantity lubrication-MQL grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 63, p. 1–15, 2012.

HADAD, M.; SHARBATI, A. Thermal Aspects of Environmentally Friendly-MQL Grinding Process. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 40, p. 509–515, 2016.

HAMRAN, N. N. N.; GHANI, J. A.; RAMLI, R.; HARON, C. H. C. A review on recent development of minimum quantity lubrication for sustainable machining. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 268, p. 122165, 2020.

HEGAB, H.; KISHAWY, H. A.; UMER, U.; MOHANY, A. A model for machining with nano-additives based minimum quantity lubrication. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 102, n. 5, p. 2013–2028, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-019-03294-0>>

JABBAR, M. A.; HASHIM, Z.; ZAINUDDIN, H.; HAMAT, R. A.; MUNN-SANN, L. Respiratory Health Effects of Metalworking Fluid among Metal Machining Workers : Review Article. **Asia Pacific Environmental and Occupational Health Journal**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 15–19, 2017.

JAVARONI, R. L.; LOPES, J. C.; DINIZ, A. E.; GARCIA, M. V.; RIBEIRO, F. S. F.; TAVARES, A. B.; TALON, A. G.; SANCHEZ, L. E. de A.; MELLO, H. J. De; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Improvement in the grinding process using the MQL technique with cooled wheel cleaning jet. **Tribology International**, [s. l.], v. 152, p. 106512, 2020.

JAVARONI, R. L.; LOPES, J. C.; GARCIA, M. V.; RIBEIRO, F. S. F.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding hardened steel using MQL associated with cleaning system and cBN wheel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 107, n. 5, p. 2065–2080, 2020.

JAVARONI, R. L.; LOPES, J. C.; SATO, B. K.; SANCHEZ, L. E. A.; MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Minimum quantity of lubrication (MQL) as an eco-friendly alternative to the cutting fluids in advanced ceramics grinding. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], 2019.

JAWAHIR, I. S.; ATTIA, H.; BIERMANN, D.; DUFLOU, J.; KLOCKE, F.; MEYER, D.; NEWMAN, S. T.; PUSAVEC, F.; PUTZ, M.; RECH, J.; SCHULZE, V.; UMBRELLO, D. Cryogenic manufacturing processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 65, n. 2, p. 713–736, 2016.

KATNA, R.; SINGH, K.; AGRAWAL, N.; JAIN, S. Green manufacturing—performance of a biodegradable cutting fluid. **Materials and Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 32, n. 13, p. 1522–1527, 2017.

KLOCKE, F.; KUCHLE, A. Cutting Fluids BT - Manufacturing Processes 1: Cutting. In: KLOCKE, F. (Ed.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 219–236.

KURAM, E.; OZCELIK, B.; BAYRAMOGLU, M.; DEMIRBAS, E.; SIMSEK, B. T. Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 42, p. 159–166, 2013.

LAWAL, S. A.; CHOUDHURY, I. A.; NUKMAN, Y. **A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: A case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant**, 2013.

LOPES, J. C.; DE MARTINI FERNANDES, L.; DOMINGUES, B. B.; CANARIM, R. C.; DA PENHA CINDRA FONSECA, M.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE OLIVEIRA, R. F. M.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Effect of CBN grain friability in hardened steel plunge grinding. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], 2019.

LOPES, J. C.; DE MARTINI FERNANDES, L.; GARCIA, M. V.; MORETTI, G. B.; DE MORAES, D. L.; RIBEIRO, F. S. F.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE OLIVEIRA, R. F. M.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Performance of austempered ductile iron (ADI) grinding using diluted oil in MQL combined with wheel cleaning jet and different CBN grains friability. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 107, n. 3–4, p. 1805–1818, 2020.

LOPES, J. C.; FRAGOSO, K. M.; GARCIA, M. V.; RIBEIRO, F. S. F.; FRANCELIN, A. P.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; RODRIGUES, A. R.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Behavior of hardened steel grinding using MQL under cold air and MQL CBN wheel cleaning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 105, n. 10, p. 4373–4387, 2019. a.

LOPES, J. C.; GARCIA, M. V.; VALENTIM, M.; JAVARONI, R. L.; RIBEIRO, F. S. F.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding performance using variants of the MQL technique: MQL with cooled air and MQL simultaneous to the wheel cleaning jet. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 105, n. 10, p. 4429–4442, 2019. B.

LOPES, J. C.; GARCIA, M. V.; VOLPATO, R. S.; DE MELLO, H. J.; RIBEIRO, F. S. F.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE OLIVEIRA ROCHA, K.; NETO, L. D.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Application of MQL technique using TiO<sub>2</sub> nanoparticles compared to MQL simultaneous to the grinding wheel cleaning jet. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 106, n. 5–6, p. 2205–2218, 2020. b.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, F. S. F.; JAVARONI, R. L.; GARCIA, M. V.; VENTURA, C. E. H.; SCALON, V. L.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Mechanical and thermal effects of abrasive cut-off applied in low and medium carbon steels using aluminum oxide cutting disc. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], 2020. c.

LOPES, J. C.; VENTURA, C. E. H.; DE M. FERNANDES, L.; TAVARES, A. B.; SANCHEZ, L. E. A.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Application of a wheel cleaning system during grinding of alumina with minimum quantity lubrication. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 102, n. 1–4, p. 333–341, 2019. c.

LOPES, J. C.; VENTURA, C. E. H.; RODRIGUEZ, R. L.; TALON, A. G.; VOLPATO, R. S.; SATO, B. K.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Application of minimum quantity lubrication with addition of water in the grinding of alumina. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 97, n. 5–8, p. 1951–1959, 2018.

MACEROL, N.; FRANCA, L. F. P.; KRAJNIK, P. Effect of the grit shape on the performance of vitrified-bonded CBN grinding wheel. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 277, p. 116453, 2020.

MANIMARAN, G.; PRADEEP KUMAR, M.; VENKATASAMY, R. Influence of cryogenic cooling on surface grinding of stainless steel 316. **Cryogenics**, [s. l.], v. 59, p. 76–83, 2014.

MAO, C.; ZOU, H.; HUANG, X.; ZHANG, J.; ZHOU, Z. The influence of spraying parameters on grinding performance for nanofluid minimum quantity lubrication. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 64, n. 9, p. 1791–1799, 2013.

MARINESCU, I. D.; HITCHINER, M.; UHLMANN, E.; ROWE, W. B. **Handbook of Machining with Grinding Wheels**. 1. ed. New York: CRC Press, 2007.

MATTHEW, S. Metal working fluids: finding green in the manufacturing process. **Industrial Lubrication and Tribology**, [s. l.], v. 61, n. 2, p. 60–66, 2009.

MOHAMED, A.-M. O.; BAUER, R.; WARKENTIN, A. Uncut chip thickness and coolant delivery effects on the performance of circumferentially grooved grinding wheels. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 85, n. 5, p. 1429–1438, 2016.

MORETTI, G. B.; DE MORAES, D. L.; GARCIA, M. V.; LOPES, J. C.; RIBEIRO, F. S. F.; FOSCHINI, C. R.; DE MELLO, H. J.; SANCHEZ, L. E. D. A.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding behavior of austempered ductile iron: a study about the effect of pure and diluted MQL technique applying different friability wheels. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 108, n. 11–12, p. 3661–3673, 2020.

NIE, Z.; WANG, G.; WANG, L.; RONG, Y. (Kevin). A Coupled Thermomechanical Modeling Method for Predicting Grinding Residual Stress Based on Randomly Distributed Abrasive Grains. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, [s. l.], v. 141, n. 8, 2019.

NIZAMUDDIN, M.; AGRAWAL, S. M.; PATIL, N. The Effect of Karanja based Soluble Cutting Fluid on Chips Formation in Orthogonal Cutting Process of AISI 1045 Steel. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 20, p. 12–17, 2018.

OLIVEIRA, D. de J.; GUERMANDI, L. G.; BIANCHI, E. C.; DINIZ, A. E.; DE AGUIAR, P. R.; CANARIM, R. C. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 212, n. 12, p. 2559–2568, 2012.

OLIVEIRA, D. de J.; GUERMANDI, L. G.; BIANCHI, E. C.; DINIZ, A. E.; DE AGUIAR, P. R.; CANARIM, R. C. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 212, n. 12, p. 2559–2568, 2012.

PICCIOTTO, S.; LJUNGMAN, P. L.; EISEN, E. A. **Straight metalworking fluids and all-cause and cardiovascular mortality analyzed by using G-estimation of an accelerated failure time model with quantitative exposure: Methods and interpretations**, 2016.

PUSAVEC, F.; KRAMAR, D.; KRAJNIK, P.; KOPAC, J. Transitioning to sustainable production – part II: evaluation of sustainable machining technologies. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 18, n. 12, p. 1211–1221, 2010.

RAVICHANDRAN, G.; ROSAKIS, A.; HODOWANY, J.; ROSAKIS, P. On the Conversion of Plastic Work into Heat During High-Strain-Rate Deformation. **AIP Conf. Proc.**, [s. l.], v. 620, 2002.



RIBEIRO, F. S. F.; LOPES, J. C.; GARCIA, M. V.; DE MORAES, D. L.; DA SILVA, A. E.; DE ANGELO SANCHEZ, L. E.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. New knowledge about grinding using MQL simultaneous to cooled air and MQL combined to wheel cleaning jet technique. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 109, n. 3–4, p. 905–917, 2020.

RODRIGUEZ, R. L.; LOPES, J. C.; GARCIA, M. V.; TARRENTO, G. E.; RODRIGUES, A. R.; DE ÂNGELO SANCHEZ, L. E.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding process applied to workpieces with different geometries interrupted using CBN wheel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 107, n. 3–4, p. 1265–1275, 2020.

RODRIGUEZ, R. L.; LOPES, J. C.; HILDEBRANDT, R. A.; PEREZ, R. R. V.; DINIZ, A. E.; DE ÂNGELO SANCHEZ, L. E.; RODRIGUES, A. R.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Evaluation of grinding process using simultaneously MQL technique and cleaning jet on grinding wheel surface. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 271, n. October 2018, p. 357–367, 2019.

RODRIGUEZ, R. L.; LOPES, J. C.; MANCINI, S. D.; DE ÂNGELO SANCHEZ, L. E.; DE ALMEIDA VARASQUIM, F. M. F.; VOLPATO, R. S.; DE MELLO, H. J.; DE AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Contribution for minimization the usage of cutting fluids in CFRP grinding. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 103, n. 1–4, p. 487–497, 2019. b.

ROWE, W. B. **Principles of Modern Grinding Technology**. [s.l.] : Elsevier, 2014.

SABERI, A.; RAHIMI, A. R.; PARSAN, H.; ASHRAFIJOU, M.; RABIEI, F. Improvement of surface grinding process performance of CK45 soft steel by minimum quantity lubrication (MQL) technique using compressed cold air jet from vortex tube. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 131, p. 728–738, 2016.

SADEGHI, M. H.; HADAD, M. J.; TAWAKOLI, T.; VESALI, A.; EMAMI, M. An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication-MQL technique. **International Journal of Material Forming**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 241–251, 2010.

SAID, Z.; GUPTA, M.; HEGAB, H.; ARORA, N.; KHAN, A. M.; JAMIL, M.; BELLOS, E. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 105, n. 5–6, p. 2057–2086, 2019.

SATO, B. K.; RODRIGUEZ, R. L.; TALON, A. G.; LOPES, J. C.; MELLO, H. J.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. Grinding performance of AISI D6 steel using CBN wheel vitrified and resinoid bonded. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 105, n. 5–6, p. 2167–2182, 2019.

- SETTI, D.; SINHA, M. K.; GHOSH, S.; VENKATESWARA RAO, P. Performance evaluation of Ti–6Al–4V grinding using chip formation and coefficient of friction under the influence of nanofluids. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 88, p. 237–248, 2015.
- SHOKRANI, A.; DHOKIA, V.; NEWMAN, S. T. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 57, p. 83–101, 2012.
- SILVA, L. R.; CORRÊA, E. C. S.; BRANDÃO, J. R.; DE ÁVILA, R. F. Environmentally friendly manufacturing: Behavior analysis of minimum quantity of lubricant - MQL in grinding process. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], 2013.
- SINGH, A. K.; KUMAR, A.; SHARMA, V.; KALA, P. Sustainable techniques in grinding: State of the art review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 269, p. 121876, 2020.
- SINHA, M. K.; MADARKAR, R.; GHOSH, S.; RAO, P. V. Application of eco-friendly nanofluids during grinding of Inconel 718 through small quantity lubrication. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 141, p. 1359–1375, 2017.
- TALON, A. G.; LOPES, J. C.; TAVARES, A. B.; SATO, B. K.; RODRIGUES, A. R.; GENOVEZ, M. C.; ALEXANDRE, T.; PINTO, D.; MELLO, H. J. De; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C.; RODRIGUES, A. R. Effect of hardened steel grinding using aluminum oxide wheel under application of cutting fluid with corrosion inhibitors. [s. l.], 2019.
- TAWAKOLI, T.; HADAD, M. J.; SADEGHI, M. H. Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 50, n. 6, p. 521–531, 2010.
- TAWAKOLI, T.; HADAD, M. J.; SADEGHI, M. H.; DANESHI, A.; STÖCKERT, S.; RASIFARD, A. An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication—MQL grinding. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [s. l.], v. 49, n. 12, p. 924–932, 2009.
- TEBALDO, V.; DI CONFIENGO, G. G.; FAGA, M. G. Sustainability in machining: “Eco-friendly” turning of Inconel 718. Surface characterisation and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 140, p. 1567–1577, 2017.
- WALKER, T. **The MQL Handbook**. [s.l: s.n.].
- WANG, Y.; LI, C.; ZHANG, Y.; YANG, M.; LI, B.; JIA, D.; HOU, Y.; MAO, C. Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in minimum quantity lubrication (MQL) grinding using different types of vegetable oils. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 127, p. 487–499, 2016.
- WANG, Y.; LI, C.; ZHANG, Y.; YANG, M.; ZHANG, X.; ZHANG, N.; DAI, J. Experimental evaluation on tribological performance of the wheel/workpiece interface in

minimum quantity lubrication grinding with different concentrations of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p. 3571–3583, 2017.

WICKRAMASINGHE, K. C.; SASAHARA, H.; RAHIM, E. A.; PERERA, G. I. P. Green Metalworking Fluids for sustainable machining applications: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 257, p. 120552, 2020.

YOSHIMURA, H.; ITOIGAWA, F.; NAKAMURA, T.; NIWA, K. Development of Nozzle System for Oil-on-Water Droplet Metalworking Fluid and Its Application to Practical Production Line. **JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing**, [s. l.], v. 48, n. 4, p. 723–729, 2005.

ZHANG, J.; LI, C.; ZHANG, Y.; YANG, M.; JIA, D.; LIU, G.; HOU, Y.; LI, R.; ZHANG, N.; WU, Q.; CAO, H. Experimental assessment of an environmentally friendly grinding process using nanofluid minimum quantity lubrication with cryogenic air. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 193, p. 236–248, 2018.

ZHANG, Y.; LI, C.; JIA, D.; LI, B.; WANG, Y.; YANG, M.; HOU, Y.; ZHANG, X. Experimental study on the effect of nanoparticle concentration on the lubricating property of nanofluids for MQL grinding of Ni-based alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 232, p. 100–115, 2016.