

ANÁLISE DE RUGOSIDADE E DESGASTE DIAMETRAL DO REBOLO NA RETIFICAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE COM NOVA CLASSE DE INIBIDORES VOLÁTEIS DE CORROSÃO

Anthony Gaspar Talon, anthony.talon@gmail.com¹

José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@hotmail.com¹

André Bueno Tavares, andrebueno1@gmail.com¹

Denis Pascolat Magrini, dpmagrini@ig.com.br¹

Mário Celso Genovez, mario.genovez@vcibrasil.com.br³

Tiago Alexandre Dinis Pinto, tiago.pinto@vcibrasil.com.br³

Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br²

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

²Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

³VCI Brasil, Rod. Marechal Rondon KM 334,3, CEP 17048-690, Bauru, SP, Brasil.

Resumo: Fluidos de corte lubrificam e refrigeram a zona de corte, porém são prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos, adicionando custos à indústria. Através disso, um método eficaz e relativamente barato de controlar a corrosão em ambientes fechados, é o uso de inibidores de corrosão voláteis (VCI's), que utilizam o ar como meio de propagação. Então, a VCI Brasil, formulou uma nova tecnologia de inibidores de corrosão, que utilizam a água como meio de propagação, sendo denominados genericamente como V-active VCI ®. Isso possibilitou desenvolver outros produtos que utilizam a água como meio, denominados genericamente como MV Aqua ®, o que inclui fluidos de corte, onde essa família de inibidores promove um maior efeito de lubrificação e detergência, ocasionando um menor desgaste do rebolo e melhor acabamento, além de promover a proteção contra corrosão da peça, pois um filme protetivo sobre a superfície evita a necessidade de uso de óleos protetivos intermediários e consequente desengraxe posterior, reduzindo o número de etapas de processo e impacto ambiental. O fluido em questão não apresenta riscos aos seres humanos e é biodegradável. Verificou-se o desempenho de um fluido sintético com um inibidor de corrosão no processo de retificação do aço AISI 4340 com rebolo de óxido de alumínio em comparação com um fluido sintético base. A comparação ocorreu em três diferentes velocidades de mergulho (0,25; 0,50 e 0,75 mm/minuto). Foram analisados rugosidade e desgaste diametral do rebolo, concluindo que o fluido com inibidor de corrosão beneficiou o processo de retificação como um todo.

Palavras-chave: Retificação cilíndrica externa, Aço AISI 4340, fluido de corte sintético, Inibidor volátil de corrosão, rebolo de Óxido de Alumínio

1. INTRODUÇÃO

A remoção de material no processo de retificação é feita pelo rebolo, ferramenta na qual os grãos abrasivos estão dispostos de forma irregular (Rasim et al., 2015), e ocorre por fricção, deformação e cisalhamento do material, sendo este último responsável pela formação do cavaco, enquanto a fricção e a deformação consomem energia sem remover material (Sinha et al., 2016).

A retificação de uma peça é de extrema precisão e quaisquer erros nessa etapa, acarretam em custos altamente onerosos, uma vez que a peça já passou por diversos outros processos de usinagem (Soares et al., 2002).

Na retificação, muitos grãos abrasivos estão em contato com a peça em determinado instante, porém apenas parte deles estão efetivamente cortando e removendo material. Logo, os outros grãos estão apenas se movendo sobre a superfície da peça, o que gera alto atrito, e por consequência, altas temperaturas (Tawakoli et al. 2009).

Com a utilização de fluido de corte, probabilidade de dano à peça é reduzida, bem como a taxa de desgaste do rebolo, reduzindo os custos de produção. Porém, a composição desses fluidos causa riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana (Silva et al., 2016)

A VCI Brasil formulou uma nova classe de inibidores voláteis de corrosão, que além da propriedade de inibição de corrosão na fase vapor, possui a propriedade de utilizar a água como meio de propagação.

O fluido estudado, apresenta tal inibidor de corrosão que elimina etapas do processo (como desengraxe e limpeza da peça) (Genovez et al., 2015). Esse não é o foco do estudo, uma vez que outras bibliografias já comprovaram a eficiência do protetivo em diversas situações. Porém, não houve estudo até o momento sobre a influência desse protetivo nas variáveis de saída no processo de retificação. Uma vez que o fluido não agride o meio ambiente, não é nocivo ao ser humano, e pode reduzir etapas do processo de usinagem de uma peça, propiciando aumento da produção e agregando valor à cadeia produtiva, o presente estudo traz informações úteis ao conhecimento científico.

1.1. VCI V-active

Um método eficaz e relativamente barato de controlar a corrosão em ambientes fechados é o uso de inibidores voláteis de corrosão (VCI's). Esses compostos podem ser usados como protetores temporários e uma das características que os distinguem dos sistemas permanentes de prevenção da corrosão, como pinturas e revestimentos metálicos, é que eles podem ser removidos da superfície (Estevão e Nascimento, 2001). Portanto, os VCI's são uma ferramenta boa e econômica para a proteção de metais e ligas contra os danos causados pela corrosão atmosférica.

Os VCI comerciais são sais de ácidos orgânicos e inorgânicos juntamente com compostos aminos, geralmente fornecidos como cristais contidos em suportes de espuma de plástico e aplicados em veículos tais como papel ou plástico (Fodor, 1985).

Além disso, são adicionadas a ambientes corrosivos fechados em doses relativamente pequenas e podem reduzir significativamente a taxa de corrosão subsequente (Bastidas et al., 2005).

As bases orgânicas (geralmente aminas) funcionam como um "carregador passivo e ativo em alguns casos" que transporta o íon quando volatilizado, depositando o mesmo sobre a superfície metálica, formando um filme uniforme e invisível. Os inibidores voláteis de corrosão (VCI's) são compostos que têm a capacidade de vaporizar e condensar em uma superfície metálica, tornando menos suscetível à corrosão pela formação de uma fina camada de uma película protetora (Bastidas et al., 2005; Valdez et al., 2006 Skinner, 1993).

A escolha de um composto químico como VCI depende da sua pressão de vapor e eficiência para evitar a corrosão ao formar um filme de proteção. A pressão de vapor do VCI deve possuir valores ótimos (Kumar e Saini, 2012).

Em um sistema ideal, para garantir proteção, o recipiente deve ser selado hermeticamente, resultando no equilíbrio do sistema. Neste caso, a durabilidade do componente a ser protegido pelo VCI pode ser infinita. Se houver uma troca entre o meio interno com o externo (vazamentos pequenos ou aberturas), haverá uma "renovação" no meio, o que provoca o consumo e, portanto, uma diminuição da concentração do VCI aplicado (Fodor, 1985).

Outra vantagem dos VCI's é que as moléculas volatizadas podem atingir os espaços difíceis de alcançar porque, como é uma fase de vapor, a condensação ocorre em qualquer local da superfície metálica, fato que não é possível com outros tipos de proteção, como óleo ou graxa (Genovez et al., 2015).

Utilizando o conceito de dissociação do sal VCI promovido pela presença de água, foi desenvolvida uma nova formulação de inibidores químicos que utilizam a umidade como meio de aplicação, ou seja, estes novos inibidores têm a capacidade de transformar a umidade como a rota para aplicação e propagação do mesmo. Tais inibidores, conhecidos genericamente como V-active VCI retêm as propriedades de um inibidor volátil. Sua formulação química, quando na presença de água ou contaminante aquoso, migra para o meio e isso promove sua dissociação. Por exemplo, se houver contaminação de água em um tanque de diesel (uma ocorrência comum), a água afunda no fundo do tanque e oxida o metal, e também oxida as partes vazias do tanque acima do diesel. O inibidor V-active VCI, se adicionado ao combustível diesel, migra para o meio aquoso e inibe o processo de corrosão, tanto na fase líquida (inferior) quanto na área de vapor (Genovez et al., 2015).

Especificamente no caso de fluido de corte, esta família de inibidores quando dissolvidos em água promovem um maior efeito de lubrificação e detergência, ocasionando um menor consumo de ferramentas de corte (rebolo no caso de retificação), e consequentemente, melhor acabamento, e ainda, promove a proteção contra corrosão da peça metálica.

Uma vez que o fluido é de base aquosa e isso favorece a oxidação, ter esse composto adicionado é de grande importância, uma vez que o mesmo utiliza a água como meio de propagação para evitar a corrosão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metodologia de ensaios

Os experimentos foram realizados na retificadora cilíndrica CNC fabricada pela empresa SULMECÂNICA, modelo RUAP 515 H, equipada com comando numérico computadorizado CNC da marca Fagor. A retificadora está apresentada na Fig. 1.

Para cada fluido, foram realizados ensaios em três velocidades de mergulho diferentes: 0,25 mm/min, 0,50 mm/min e 0,75 mm/min. Para cada velocidade, foram realizados 3 ensaios para maior confiabilidade dos resultados. A metodologia de ensaios está esquematizada na Fig. 3.



Figura 1: Retificadora utilizada.

Após cada ensaio, o rebolo foi dressado em 200 μm para evitar que o desgaste do rebolo interferisse no ensaio subsequente. As condições de dressagem foram mantidas constantes utilizando dressador conglomerado de dimensões 15 mm x 8 mm x 10 mm, da empresa Master Diamond Ltda, utilizando sempre lubri-refrigeração convencional. A montagem do ensaio está apresentada na Fig. 2.



Figura 2: Montagem experimental.

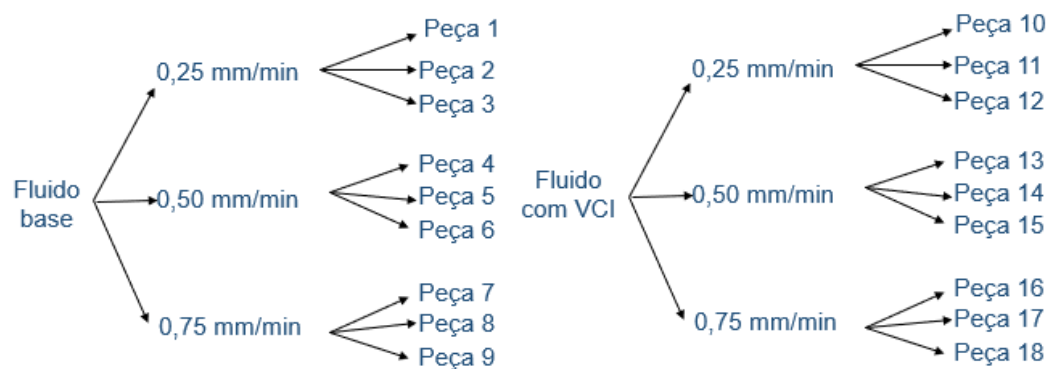


Figura 3: Metodologia de ensaios.

2.2. Rugosidade média e desgaste diametral do rebolo

A medição da rugosidade média aritmética (R_a), bem como o desgaste diametral do rebolo, foram medidos com um aparelho da marca Taylor Hobson modelo Surtronic3+. A rugosidade foi medida em dez pontos diferentes da peça, e então, foi retirada uma média. Para a medição do desgaste será impresso o perfil do rebolo desgastado em um o corpo cilíndrico de dimensões 120 x 30 mm, confeccionado em aço ABNT 1020 destinado a esse fim. Tal corpo será retificado e haverá a remoção de um volume fixo de material. Os desníveis entre as regiões gastas e não gastas do rebolo serão repassadas ao corpo retificado.



Figura 4: Rugosidade Média sendo aferida em um corpo de prova.

2.3. Rebolo de Óxido de Alumínio

O rebolo convencional a ser utilizado foi doado pela empresa NORTON Abrasivos Ltda. – Saint-Gabain, e é feito com abrasivo convencional de óxido de alumínio (Al_2O_3) e ligante vitrificado. Dentre suas especificações, pode-se salientar a dureza L (média), granulometria 150 (muito fina) e dimensões definidas por 355,6 mm x 25,4 mm x 127 mm.

2.4. Corpos de prova

Os corpos de prova são feitos de Aço AISI 4340 temperado e revenido. O aço AISI 4340 é um aço com uma boa combinação de resistência e tenacidade, usado na construção de peças de grande porte e que serão sujeitas a um grande esforço mecânico. Aplicado em equipamentos da indústria automobilística, siderurgia, produção de energia, produção de açúcar, mineração e da exploração de petróleo.

Seu tratamento térmico é definido por uma têmpera e um revenimento. A têmpera é feita a uma temperatura em torno de 830 °C a 850 °C, sendo seguida por um resfriamento em óleo. Já o revenimento é feito a 250 °C com um resfriamento controlado, o que garante ao aço uma dureza por volta de 58 HRC.



Figura 5: Corpos de prova.

A composição do aço AISI 4340 é dada pelas seguintes porcentagens, segundo Bida et al. (2000): 0,38% de Carbono (C), 96% de Ferro (Fe), 0,2% de Silício (Si), 1,3% de Níquel (Ni), 0,8% de Cromo (Cr), 0,04% de Enxofre (S), 0,07% Manganês (Mn), 0,025% de Molibdênio (Mo) e 0,035% de Fósforo (P).

2.5. Sistema de refrigeração convencional

O sistema de refrigeração convencional utilizado é o mesmo utilizado em várias empresas atualmente. Consistem essencialmente no reservatório de fluido, bomba de sucção, mangueiras, o fluido de corte e um bocal fixo. O reservatório da retificadora possui capacidade de 100 litros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Malkin & Guo (2008), o acabamento superficial é de suma importância, uma vez que afeta de forma significativa, a resistência à fadiga dos componentes fabricados. Isso deve ser levado em consideração principalmente naqueles que são submetidos a condições de trabalhos com carregamentos alternados e em elevadas temperaturas.

A adição do inibidor volátil de corrosão se mostrou benéfica com processo de retificação. As duas variáveis de saída analisadas (rugosidade e desgaste diametral do rebolo), apresentaram valores melhores com a presença do V-active VCI que utiliza a água como meio de propagação, se comparado ao fluido base. Isso se deve ao fato do V-active VCI apresentar em sua formulação, um agente de lubricidade inovador, que tem a propriedade de polimerizar conforme a necessidade e exigência. Assim pensando, quanto maior a exigência de lubricidade, cisalhamento, pressão e temperatura, maior o nível de polimerização (obviamente que existe um limite, que é determinado pela concentração em banho). Isso se justifica com as figuras 6 e 7.

Puerto et al. (2013) afirma que pelo fato de a retificação ser um processo de usinagem por abrasão, destinado a obtenção de bom acabamento em materiais de alta dureza, sua finalidade caracteriza-se na obtenção de baixa rugosidade (R_a 0,1 μm até 2,0 μm). A partir dessa afirmação, é possível notar que todos os valores de rugosidade média da Fig. 6 estão dentro do esperado para o processo de retificação.

Além desta propriedade, de algum modo, os sais constituintes do V-active VCI interagem quimicamente com os agentes de lubricidade, potencializando seu efeito.

É possível perceber na Fig. 6 que na velocidade de 0,25 mm/min ambos os fluidos foram equivalentes. Conforme se aumenta a velocidade de avanço e o processo fica mais agressivo, as curvas de rugosidade apresentaram considerável discrepância. Isso indica que a adição do V-active VCI se torna interessante no quesito variáveis de saída, quando se aumenta a severidade do processo.

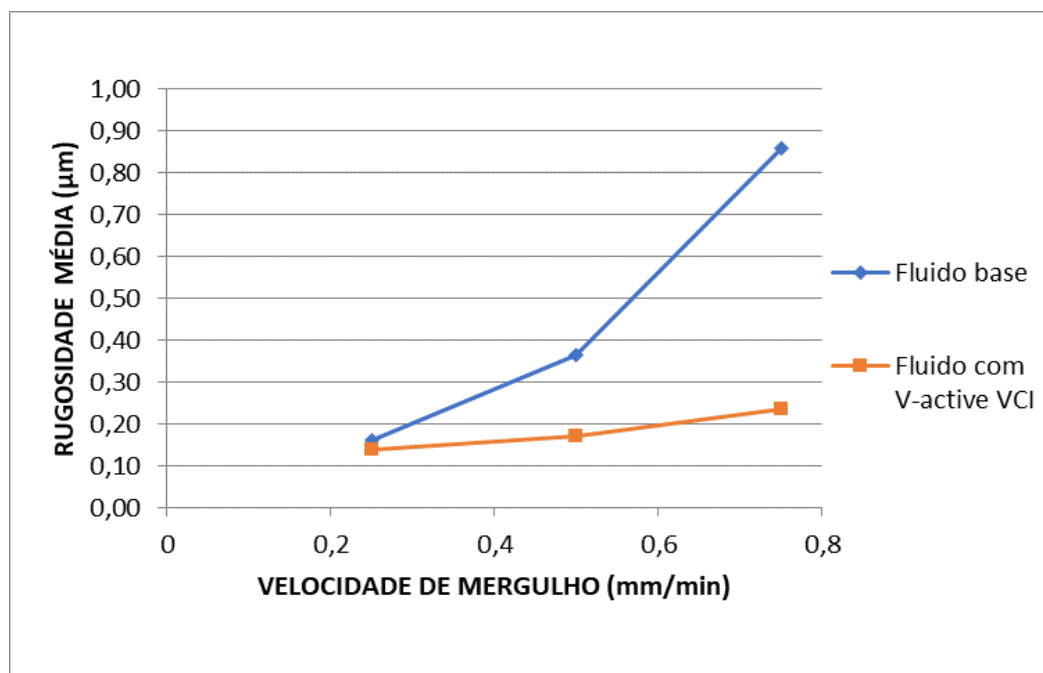


Figura 6: gráfico de rugosidade por velocidade de mergulho para os dois fluidos utilizados.

O mesmo ocorre com o desgaste diametral do rebolo, mostrado na Fig. 7. Como esperado, a curva de desgaste segue o mesmo padrão da curva de rugosidade. Esses dois parâmetros não são proporcionais, mas estão relacionados, uma vez que é sabido que a elevação da velocidade de mergulho gera um aumento da espessura do cavaco, o que resulta em um maior desgaste no rebolo e uma pior rugosidade.

De acordo com Iceri et al. (2012), o desgaste do rebolo possui relação direta com capacidade de um fluido exercer a lubrificação. Quanto mais predominante ela for, menor será o atrito entre grãos abrasivos e peça, e como consequência, os grãos irão permanecer ligados por mais tempo ao ligante, portanto mantendo-se afiados por mais tempo.

Além disso, para Malkin e Guo (2008) o desgaste diametral do rebolo ocorre em função de dois fatores: deterioração térmica e a elevada solicitação mecânica a que o rebolo é submetido. Portanto, na medida em que ocorre a dissipação térmica da região de corte, a perda de resistência do ligante é menor, ocasionando um menor desgaste diametral do rebolo.

Portanto, a lubrificação do fluido de corte é de suma importância no que tange ao desgaste diametral do rebolo, e, como pode-se observar na Fig. 7, ambos os fluidos apresentaram valores bons de desgaste, levando em conta que foi utilizado um rebolo de Óxido de Alumínio convencional.

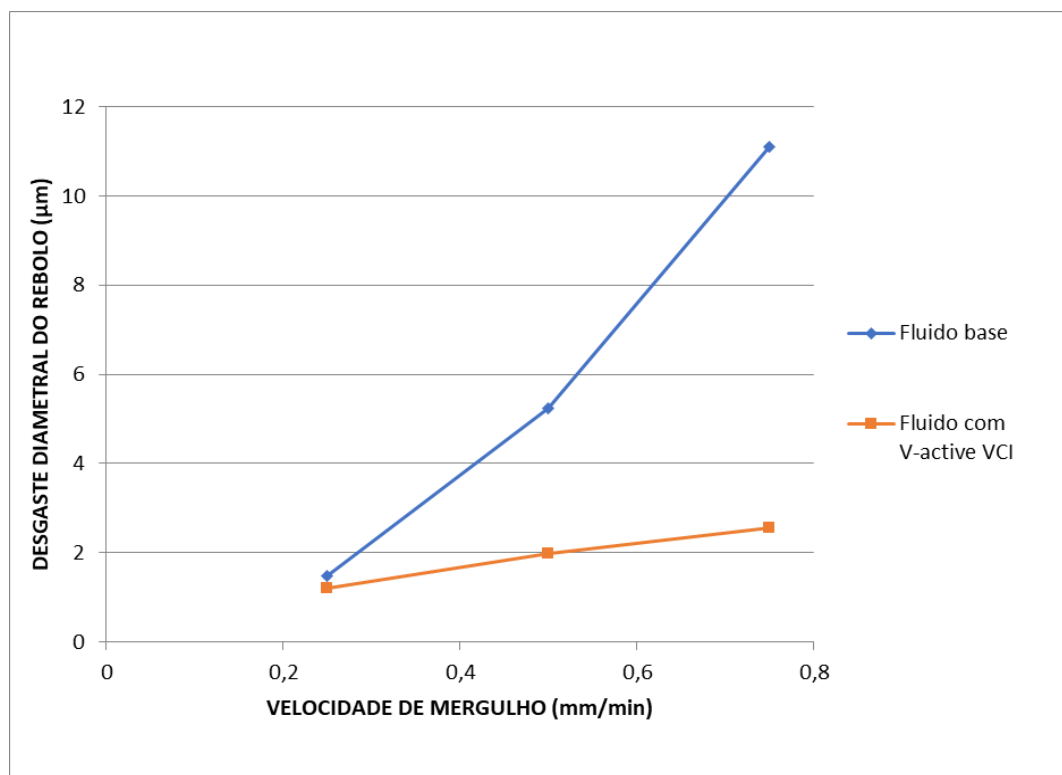


Figura 7: gráfico de desgaste diametral do rebolo por velocidade de mergulho para os dois fluidos utilizados.

É possível perceber que ambos os fluidos apresentaram resultados semelhantes em uma baixa velocidade de mergulho. Porém, ao se aumentar a velocidade de mergulho, ocorre o aumento da temperatura por tornar o processo mais agressivo, e então, o fluido com o V-active VCI apresentou melhores resultados se comparado com o fluido base. Isso permite aumentar velocidade de corte e com isso melhorar a produção.

4. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho pode-se concluir que:

- A adição da nova família de inibidores de corrosão no fluido de corte foi positiva ao processo de retificação do aço AISI 4340 com rebolo de Óxido de Alumínio.
- O rebolo apresentou um menor desgaste com a utilização desse fluido e a qualidade superficial da peça aumentou, apresentando uma menor rugosidade.
- Além disso, o fluido em questão apresentou rendimento consideravelmente superior em maiores velocidades de avanço. Isso permitiria um aumento da produção, devido a maiores taxas de remoção de cavaco, sem perda de qualidade. Vale ressaltar que essa nova classe de inibidores ainda traz benefícios para outras etapas do processo, uma vez que é biodegradável, não é prejudicial à saúde humana e reduz etapas do processo por ser um protetor anticorrosivo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro e na concessão da bolsa de Iniciação Científica (processo 2017/03788-9). Agradecem também a VCI Brasil pela doação dos fluidos de corte, além de todo apoio prestado e ambos pela oportunidade de desenvolvimento científico e tecnológico proporcionado por essa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Bastidas, D.M., Cano, E. and Mora, E.M., Volatile corrosion inhibitors: a review, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol. 52 No. 2, pp. 71-77. 2005.
- Estevão, L.M. and Nascimento, R.V., Modifications in the volatilization rate of volatile corrosion inhibitors by means of host-guest systems, *Corrosion Science*, Vol. 43 No. 6, pp. 1133-1153.2001.
- Fodor, G.E., "The inhibition of vapor-phase corrosion: a review", US Army Belvoir Research and Development Center Materials, Fuels and Lubricants Laboratory. Report number: Internal Report BFLRF No. 209.1985.
- Genovez, M. C.; Araújo, L. H.; Pinto, T. D.; Hrdina, R. New concept of corrosion protection in the presence of water: V-active VCI. Concept and application. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, ISSN: 0003 5599.2015.
- Iceri, D.M., Sousa, R.M., Destro, R.S., Oikawa, M.H., Bianchi, E.C., Aguiar, P.R., Fortulan, C.A., "Comparação entre os métodos de aplicação de fluido de corte convencional e otimizado na retificação plana de cerâmicas", *Cerâmica* 58 (2012) Páginas 84-89
- Kumar, H. and Saini, V., Dapa, EA, TU and BI as vapour phase corrosion inhibitors for mild steel under atmospheric conditions, *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol. 2 No. 2, pp. 10-17.2012.
- Malkin, S., Guo. C. *Grinding Technology: Theory and applications of machining with abrasives*, New York: Industrial Press, p. 372, 2008.
- Puerto, P., Fernández, R., Madariaga, J., Arana, J., Gallego, I., "Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear", *Procedia Engineering*, 63: 174-182, 2013.
- Rasim, M., Mattfeld, P., Klocke, F. Analysis of the grain shape influence on the chip formation in grinding, *Journal of Materials Processing Technology* 226, 60–68. 2015.
- Skinner, W., New method for quantitative evaluation of volatile corrosion inhibitor, *Corrosion Science*, Vol. 35 Nos 5/6/7/8, pp. 1491-1494.1993.
- Silva, V.F., Batista, L.N., Robertis, E.de, Castro, C.S.C., Cunha, V.S., Costa, M.A.S. Thermal and rheological behavior of ecofriendly metal cutting fluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* V. 123, Pages 973-980. 2016.
- Sinha, M., Setti, D., Ghosh, S., Rao, V. An investigation on surface burn during grinding of Inconel 718, *Journal of Manufacturing Processes* 21 124–133. 2016.
- Soares, D.D., Oliveira, J.F.G. Diagnóstico de processos de retificação pela análise de sinais. *Revista Máquina e Metais*, ano XXXVIII, nº 436, Maio, p. 140-157. 2002.
- Tawakoli, T.; Hadad, M.J.; Sadeghi, M.H.; Daneshi, A.; Stockert, 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 & Manufacture*, v. 49, p. 924–932, 2009.
- Valdez, S.B., Zlatev, R.K., Schorr, W.M., Rosas, G.N., Dobrev, T., Monev, M. and Krastev, I., Rapid method for corrosion protection determination of VCI films, *Anti-corrosion methods and materials*, Vol. 53 No. 6, pp. 362-366. 2006.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF ROUGHNESS AND DIAMETRAL WHEEL WEAR IN GRINDING WITH THE USE OF CUTTING FLUID WITH A NEW CLASS OF CORROSION VOLATILES INHIBITORS

Anthony Gaspar Talon, anthony.talon@gmail.com¹

José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@hotmail.com¹

André Bueno Tavares, andurebueno1@gmail.com¹

Denis Pascolat Magrini, dpmagrini@ig.com.br¹

Mário Celso Genovez, mario.genovez@vcibrasil.com.br³

Tiago Alexandre Dinis Pinto, tiago.pinto@vcibrasil.com.br³

Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br²

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

²Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

³VCI Brasil, Rod. Marechal Rondon KM 334,3, CEP 17048-690, Bauru, SP, Brasil.

Abstract: *Cutting fluids lubricate and cool the cutting zone, however they are harmful to the environment and humans, adding costs to the industry. Linked to this, an effective and relatively inexpensive method of controlling corrosion indoors is the use of volatile corrosion inhibitors (VCI's), which use air as a means of propagation. Then, VCI Brazil, formulated a new technology of corrosion inhibitors, that use water as a medium of propagation, being generically denominated like V-active VCI[®]. This made it possible to develop other products that use water as medium, generally referred to as MV Aqua[®], which includes cutting fluids, where this family of inhibitors promotes a greater effect of lubricity and detergency, resulting in less wear of the grinding wheel and better finishing, besides promoting protection against corrosion of the piece, because a protective film on the surface avoids the need to use intermediate protective oils and consequent subsequent degreasing, reducing the number of process steps and environmental impact. The fluid in question poses no risk to humans and is biodegradable. The performance of a synthetic fluid with a corrosion inhibitor was verified in the process of grinding AISI 4340 steel with aluminum oxide grinding wheel compared to a synthetic base fluid. The comparison occurred at three different feed rates (0.25, 0.50 and 0.75 mm/minute). Roughness and diametral wheel wear were analyzed, concluding that the corrosion inhibitor fluid benefited the grinding process as a whole.*

Keywords: *Cylindrical grinding, AISI 4340 steel, cutting fluid synthetic, corrosion volatile inhibitors , grinding wheel of aluminum oxide.*