

ANÁLISE DO DESGASTE EM FERRAMENTAS DE CERÂMICA E PCBN NO TORNEAMENTO DO AÇO AISI 52100

Caroline Francisco Dorneles

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão. Caixa Postal 476, EMC – CEP 88010-970, Florianópolis/SC – Brasil.
carol.fdorneles@gmail.com

Denis Boing

Centro Universitário de Brusque, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação. CEP 88352-400, Brusque/SC - Brasil
denis.boing@gmail.com

Rolf Bertrand Schroeter

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão. Caixa Postal 476, EMC – CEP 88010-970, Florianópolis/SC – Brasil.
rolf.schroeter@ufsc.br

Resumo. O processo de torneamento de aços endurecidos é geralmente realizado com ferramentas de PCBN ou cerâmicas mistas, que possuem propriedades mecânicas capazes de suportar as condições tribológicas impostas pelo material usinado. Este trabalho tem como objetivo discutir o nível de desgaste a correlação com os mecanismos de desgaste atuantes nas ferramentas de PCBN e cerâmica mista no torneamento do aço AISI 52100 com dureza de 50 HRC, utilizando diferentes velocidades de corte (120-234 m/min). Através dos parâmetros de desgaste tridimensionais com base no Microscópio de Variação de Foco (FVM), os resultados apontaram para uma inversão no comportamento do parâmetro W_{RM} (volume de material removido) das ferramentas para velocidades de corte acima de 150 m/min. A ferramenta de PCBN apresenta melhores resultados até $v_c=150$ m/min, a partir desse valor, para velocidades de corte mais altas, a ferramenta de cerâmica mista apresentou o melhor desempenho. Com o aumento da velocidade de corte (120 – 234 m/min) o parâmetro W_{RM} sofreu um aumento de 200% para a ferramenta de cerâmica mista e de 650% para a ferramenta de PCBN.

Palavras chave: Torneamento de aços endurecidos. Aço AISI 52100. Desgaste de ferramentas.

1. INTRODUÇÃO

O torneamento de aços endurecidos tem sido estudado e aplicado industrialmente desde a década de 1980, em operações de acabamento e semiacabamento, tornando-se uma alternativa ao processo de retificação (Klocke, *et al.*, 2005). Quando comparado ao processo de retificação, o torneamento de aços endurecidos possui vantagens em relação à flexibilidade do processo, taxa de remoção de material, tempo de preparação e compatibilidade ambiental, sendo aplicado principalmente na usinagem de componentes multicorpos, como em eixos escalonados, bem como em geometrias complexas (Astakhov, 2011; Tönshoff, *et al.*, 2000).

O processo de torneamento de aços endurecidos é geralmente realizado com o uso de ferramentas de PCBN (Polycrystalline cubic boron nitride) ou cerâmicas óxidas, pelo fato de as mesmas resistirem às condições tribológicas impostas no processo (Tönshoff, *et al.*, 2000). As ferramentas de cerâmica e PCBN se diferem principalmente pelos valores de dureza e condutividade térmica. A maior dureza apresentada pelas ferramentas de PCBN proporcionam maior resistência ao desgaste abrasivo, ao passo que elevados valores de condutividade térmica possibilitam maior extração de calor na interface cavaco/ferramenta. No entanto, a alta condutividade térmica das ferramentas de PCBN propicia maior afinidade química da ferramenta com o material usinado, condição favorável para a atuação do mecanismo de desgaste de difusão (Tönshoff, *et al.*, 2000; Smith, 2008).

Estudos realizados por de Oliveira, *et al.*, (2009) compararam o desempenho de ferramentas com baixo teor de PCBN e cerâmica à base de óxido de alumínio reforçada com carboneto de silício no torneamento do aço AISI 4340 a 56 HRC. No corte interrompido, as ferramentas de cerâmica resistiram aos choques mecânicos tanto quanto as ferramentas de PCBN. Por outro lado, no corte contínuo, as ferramentas de PCBN apresentaram melhor desempenho. De acordo com os autores, esse resultado está associado ao fato de que, em altas temperaturas na região de corte, as cerâmicas reforçadas com carboneto de silício reagem quimicamente com o ferro, contribuindo para acelerar o desgaste da ferramenta. Luo, *et al.*, (1999) investigaram o comportamento do desgaste e desempenho de ferramentas de PCBN e cerâmica no torneamento do aço AISI 4340 endurecido, variando a velocidade de corte em 60, 100 e 200 m/min. O tempo de vida das ferramentas aumentou com a velocidade de corte até atingir um valor máximo ($v_c = 100$ m/min) e a

partir deste ponto, a vida das ferramentas começou a diminuir. O principal mecanismo de desgaste atuante nas ferramentas de PCBN foi o mecanismo de abrasão, enquanto que para as ferramentas cerâmicas, observou-se desgaste por abrasão e adesão.

A análise de desgaste em ferramentas é tipicamente realizada de acordo com os parâmetros bidimensionais descritos na norma ISO 3685:1993. Afim de complementar a caracterização do desgaste de ferramentas, Boing (2016) propôs parâmetros tridimensionais (volumétricos) para essa avaliação. Além desse trabalho, Boing, *et al.*, (2018) apontaram que a dureza de transição entre o torneamento convencional para o torneamento de aços endurecidos depende tanto da dureza como da microestrutura do material. A transição ocorre a 55 HRC para aços isentos de carbonetos primários (AISI 4340), a 50 HRC para aços com pequenos carbonetos com fração volumétrica entre 1 e 5% (AISI 52100) e a 45 HRC para aços com grandes carbonetos com fração volumétrica entre 5 e 15% (AISI D2). Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o nível de desgaste e os mecanismos de desgaste das ferramentas de PCBN e cerâmica mista em função da velocidade de corte no torneamento do aço AISI 52100 com dureza de 50 HRC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Ensaio de faceamento foram realizados em um centro de torneamento modelo GL 240, com 15 kW de potência e rotação máxima de 4500 rpm fabricado pela Romi, com. Os corpos de prova foram fabricados com aço AISI 52100, temperado e revenido, com dureza de 50 ± 2 HRC e possuem forma de disco com diâmetro externo de 125 mm e diâmetro interno de 25 mm. O disco possui chanfros de 1,5 mm x 45° para minimizar choques e evitar lascamentos no gume devido as reentradas e saídas da ferramenta na peça. As ferramentas utilizadas nos ensaios foram fornecidas pela Sandvik Coromant®. A ferramenta de cerâmica mista (SNGA 120408T01020 650) possui 70% de Al_2O_3 e 30% de TiC não revestidos. A ferramenta de PCBN (SNGA 120408S01030A 7025) apresenta baixo teor de cBN (~ 60%) com distribuição de grãos bimodais (1 e 3 μm) e um ligante cerâmico Ti (C, N) e Al (não revestido). As ferramentas de corte foram montadas no porta-ferramentas DSKNL 2020K 12. Por tratar-se de uma operação de acabamento, a profundidade de corte (a_p) e o avanço (f) mantiveram-se constantes em 0,2 mm e 0,08 mm, respectivamente. Os ensaios foram realizados em quatro níveis de velocidade de corte (v_c): 120; 150; 187,5; 234 m/min; aumentando seu valor em 25% para cada nível. Para cada combinação de material da ferramenta e velocidade de corte (v_c) foi realizada uma repetição.

A metodologia para análise do desgaste em ferramentas iniciou com a medição do gume, antes da etapa de usinagem, através do microscópio de variação de foco (FVM), modelo Infinte Focus G5 pela Alicona®, para criar uma superfície de referência (Fig. 1a). Em seguida, a ferramenta é alojada na máquina-ferramenta e a face do corpo de prova é submetida a dois passes de usinagem. Após completar o ciclo de usinagem, o gume é limpo com ácido sulfúrico (H_2SO_4) em uma câmara ultrassônica por 30 minutos. O processo de limpeza é necessário para remover o material aderido na ferramenta. Após a limpeza, o gume da ferramenta é novamente mensurado com o FVM (Fig. 1b). Com os dados coletados, as superfícies foram sobrepostas, indicando a diferença entre os gumes de referência e o desgastado, informação suficiente para extração dos parâmetros de desgaste tridimensionais (volumétricos), conforme Fig. 1c (Boing, *et al.*, 2018). Além disso, os parâmetros de desgaste de ferramenta de acordo com a norma ISO 3685:1993 também foram medidos.

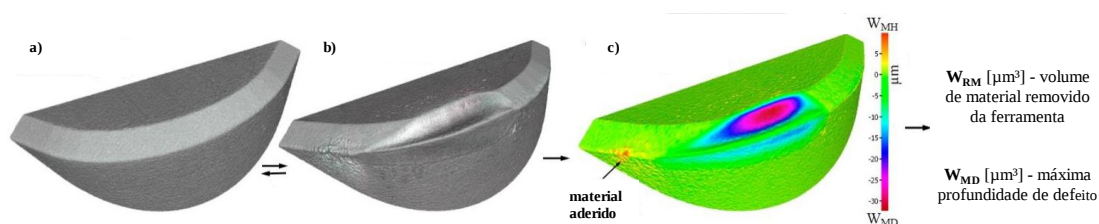


Figura 1. Metodologia utilizada para avaliação do desgaste das ferramentas.

O procedimento supramencionado é repetido cinco vezes, de modo que o gume usine dez vezes a face do corpo de prova. Ou seja, o volume de material usinado é constante. O intervalo de medição (em relação ao tempo) depende da velocidade de corte (v_c) aplicada. Para as quatro velocidades de corte testadas 120; 150; 187,5 e 234 m/min, o intervalo de medição foi de 144; 116; 92; 72 segundos, respectivamente. Para a análise da morfologia do desgaste das ferramentas utilizou-se a avaliação em microscopia eletrônica de varredura (MEV) modelo TM3030, da fabricante HITACHI, equipado com sonda EDS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através do microscópio de variação de foco estão apresentados na Fig. 2. As imagens trazem informações sobre o nível de desgaste nas ferramentas de cerâmica e PCBN por meio do parâmetro de desgaste tridimensional W_{RM} (volume de material removido da ferramenta). Analisando os valores de W_{RM} , nota-se que, com o aumento da velocidade, há um aumento na quantidade de material removido para ambas as ferramentas.

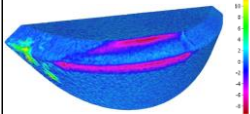
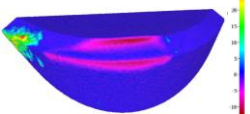
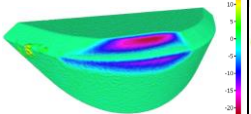
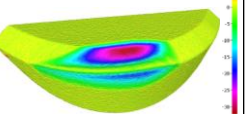
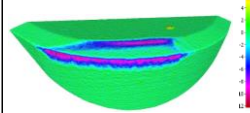
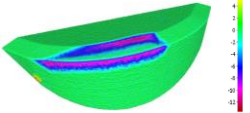
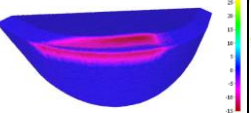
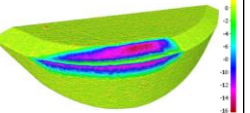
	$v_c = 120 \text{ m/min}$	$v_c = 150 \text{ m/min}$	$v_c = 187 \text{ m/min}$	$v_c = 234 \text{ m/min}$
PCBN Classe 7025	$W_{RM} = 181742 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 285212 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 672298 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 1175963 \mu\text{m}^3$ 
Cerâmica Classe 650	$W_{RM} = 316845 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 410772 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 540640 \mu\text{m}^3$ 	$W_{RM} = 634521 \mu\text{m}^3$ 

Figura 2. Desgaste das ferramentas de PCBN e cerâmica para cada velocidade de corte (v_c) utilizada.

Comparando as duas ferramentas utilizadas no trabalho, para velocidades de corte de 120 e 150 m/min, a ferramenta de cerâmica mista apresentou maiores valores para o parâmetro W_{RM} , indicando maior quantidade de material removido da ferramenta. Para as velocidades de corte de 187 m/min e 234 m/min, ocorre uma inversão no desempenho das ferramentas, sendo que a ferramenta de PCBN passa a apresentar os maiores valores para o parâmetro W_{RM} , conforme Fig. 3.

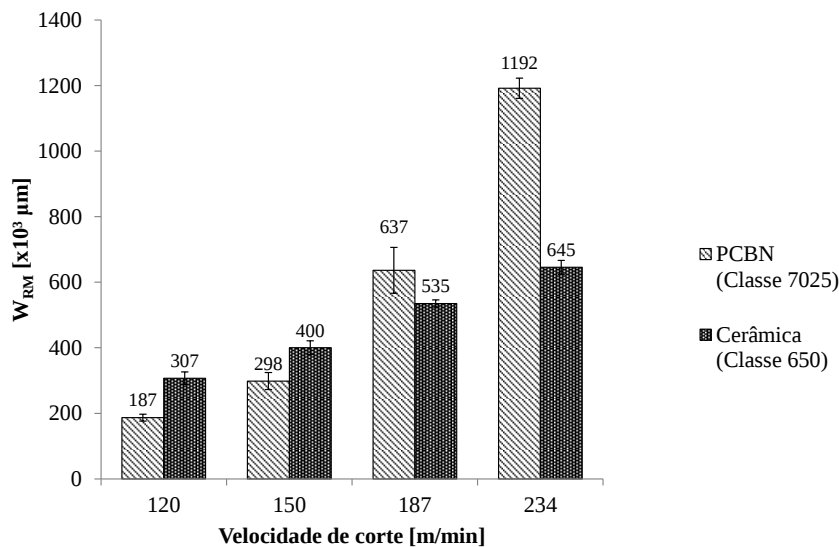


Figura 3. Volume de material removido das ferramentas de cerâmica e PCBN no torneamento do aço endurecido AISI 52100 em função da velocidade de corte (120-234 m/min).

O aumento da velocidade de corte no processo de usinagem está relacionado com o aumento da energia do sistema ferramenta/cavaco/peça. A maior parte da energia de deformação e atrito na usinagem é convertida em calor (Klocke, 2011). Desta forma, o aumento na velocidade de corte proporciona um aumento na temperatura do processo, que nesses experimentos promoveu o aumento no volume de material removido (W_{RM}) das ferramentas em 2,0 vezes para a cerâmica mista e 6,5 vezes para a ferramenta PCBN com o aumento da velocidade de corte de (v_c) = 120 m/min a (v_c) = 234 m/min.

Por meio da Fig. 4 é possível identificar marcas abrasivas no flanco e na face das ferramentas de PCBN e cerâmica mista. Analisando a morfologia do desgaste por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) percebe-se maior intensidade do mecanismo de abrasão no flanco da ferramenta, identificado pelo mapa de cores na imagem obtida pelo microscópio de variação de foco (FVM). O desgaste abrasivo também é evidente no final do chanfro para ambas as ferramentas, conforme Fig. 4. Em $v_c=120 \text{ m/min}$, os valores de máxima profundidade de defeito (W_{MD}) são bastante similares para as ferramentas de PCBN e de cerâmica, 9,3 μm e 11,9 μm , respectivamente.

De acordo com a Fig. 5a, é possível identificar marcas de desgaste abrasivo e microlascamentos, assim como acentuada profundidade de cratera. Além disso, a ferramenta de cerâmica mista (Fig. 5b) apresentou pronunciado desgaste abrasivo em uma larga faixa do flanco, conforme imagens em MEV e em FVM.

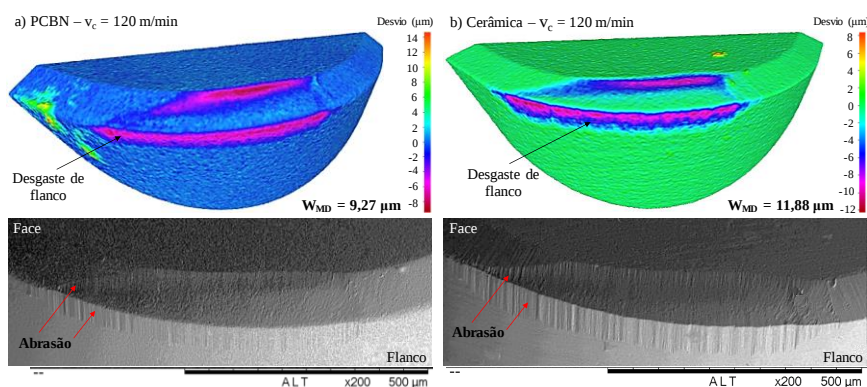


Figura 4. Desgaste volumétrico e morfologia do desgaste das ferramentas de a) PCBN e b) cerâmica mista no torneamento do aço endurecido AISI 52100 para $v_c = 120$ m/min.

Comparando a morfologia do desgaste das duas ferramentas (Fig. 5), sugere-se que o mecanismo de desgaste de difusão atuou com mais intensidade na ferramenta de PCBN em comparação com a ferramenta de cerâmica. Essa hipótese ganha relevância quando comparamos os valores de W_{MD} para as duas ferramentas; onde se tem que W_{MD} é cerca de 2 vezes maior para a ferramenta de PCBN em comparação com a ferramenta de cerâmica mista. Segundo Angseryd e Andrén (2011), o Fe presente na liga do aço reage quimicamente com o grão de CBN da ferramenta de PCBN, fragilizando a mesma e formando maior cratera.

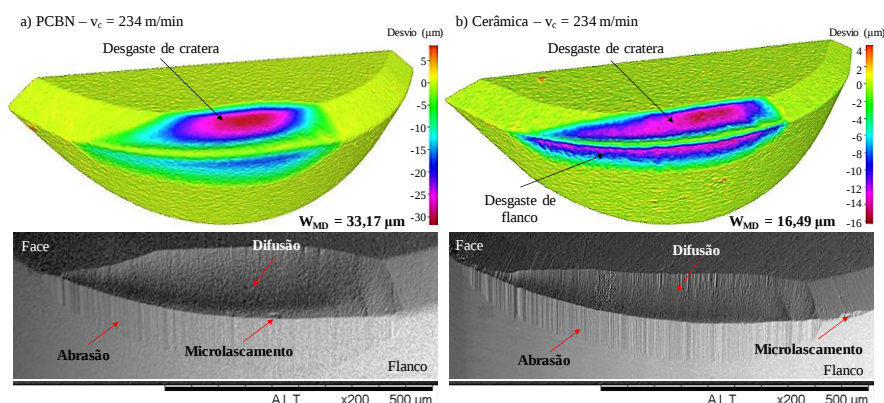


Figura 5. Desgaste volumétrico e morfologia do desgaste das ferramentas de a) PCBN e b) cerâmica mista no torneamento do aço endurecido AISI 52100 para $v_c = 234$ m/min.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos ensaios apresentados, pode-se concluir que, no torneamento do aço AISI 52100 (50 HRC), para velocidades de corte até 150 m/min a ferramenta de cerâmica mista apresentou maiores valores para o parâmetro W_{RM} . Porém, a partir de 187,5 m/min, houve uma inversão no desempenho e a ferramenta de PCBN apresentou maiores valores para W_{RM} . Além disso, com o aumento da velocidade de corte de 120 m/min para 234 m/min, o volume de material removido (W_{RM}) sofreu um aumento de 200% para a ferramenta de cerâmica e de 650% para a ferramenta de PCBN. Para a velocidade de corte de 120 m/min a abrasão foi o principal mecanismo de desgaste em ambas as ferramentas. Para a velocidade de corte de 234 m/min a abrasão e difusão foram os principais mecanismos de desgaste nas ferramentas de PCBN, e para ferramentas de cerâmica, a abrasão foi o principal mecanismo atuante.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em especial ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC); ao Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), da UFSC; ao Centro Universitário de Brusque UNIFEBS e ao Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação (CTIF); e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6. REFERÊNCIAS

- Angseryda J. e Andrén H.-O., 2011. "An in-depth investigation of the cutting speed impact on the degraded microstructure of worn PCBN cutting tools". *Wear*, Vol. 271, p. 2610-2618.
- Astakhov, V.P., 2011. "Machining of Hard Materials – Definitions and Industrial Applications". In Davim J. D., *Machining of Hard Materials*, London: Springer-Verlag.
- Boing, D., 2016. *Transição da aplicação do metal-duro revestido e do PCBN no torneamento de aços endurecidos em função da dureza e do teor de carbonetos*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Boing, D., Schroeter, R.B. e de Oliveira, A.J., 2018. "Three-dimensional wear parameters and wear mechanisms in turning hardened steels with PCBN tools". *Wear*, Vol 398-399, p. 69-78.
- Castro, L.C., Boing, D. e Schroeter, R.B., 2018. "Tool Performance Assessment based on Three-Dimensional Tool Wear Rate". *CIRP Conference on High Performance Cutting*, Vol. 77, p 638-641.
- de Oliveira, A.J., Diniz, A.E. e Ursolino, D.J., 2009. "Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools". *Journal of Material Processing Technology*, Vol 209, p. 5262-5270.
- ISO 3685, 1993. *Tool life testing with single-point turning tools*. ISO Standard, 3685.
- Klocke F., 2011. *Manufacturing Processes 1: Cutting*. Springer-Verlag, Berlin, 1ª edição.
- Klocke F., Brinksmeier E. e Weinert K., 2005. "Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes". *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Vol. 54, p. 22–45.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S. e Tsai, Y.Y., 1999. "Wear characteristics on turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools". *Journal of Material Processing Technology*, Vol 88, p. 114 – 121.
- More, A.S., Jiang, W., Brown, W.D., Malshe, A.P., 2006. "Tool wear and machining performance of cBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel. *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 180, p. 253-262.
- Smith, G.T., 2008. *Cutting Tool Technology – Industrial Handbook*. Springer.
- Tönshoff H.K., Arendt C. e Ben Amor R., 2000. "Cutting of hardened steel". *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Vol. 49, p. 547–566.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Analysis of wear on ceramic and PCBN tools on the turning of AISI 52100 steel

Caroline Francisco Dorneles

Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Precision Mechanics, Federal University of Santa Catarina, 88010-970, Florianópolis/SC, Brazil
carol.fdorneles@gmail.com

Denis Boing

Department of Mechanical Engineering, Technology, Innovation and Manufacturing Center, Brusque University Center, 88352-400, Brusque/SC, Brazil
denis.boing@gmail.com

Rolf Bertrand Schroeter

Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Precision Mechanics, Federal University of Santa Catarina, 88010-970, Florianópolis/SC, Brazil
carol.fdorneles@gmail.com
rolf.schroeter@ufsc.br

Abstract. The hard turning process is usually performed by PCBN tools or mixed ceramics, which have mechanical properties that of withstanding the tribological conditions imposed by the machined material. The aim of this work is to discuss the level of wear and the correlation with wear mechanisms in turning AISI 52100 steel with hardness of 50 HRC using PCBN tools and mixed ceramics for different cutting speeds (120-234 m / min) . Using three-dimensional wear parameters based on the Focus Variation Microscope (FVM), the results pointed to an inversion in the behavior of the WRM (material volume removed) parameter of the tools for cutting speeds above 150 m / min. the PCBN tool presents better results up to 150 m / min, from this value, for higher cutting speeds, the mixed ceramic tool presented the best performance With the increase of the cutting speed (120-234 m / min) the WRM parameter increased by 200% for the mixed ceramic tool and 650% for the PCBN tool.

Keywords: hard turning. AISI 52100 steel. tool wear

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.