

UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CERÂMICA E CBN NO TORNEAMENTO DO AÇO D6 ENDURECIDO COM CORTE INTERROMPIDO

Wallyson Thomas Alves da Silva, wallyson.silva@sp.senai.br¹

Paulo Cesar Vieira, paulocnc1000@gmail.com¹

Marcelo Baraldi, marcelo.baraldi@sp.senai.br¹

Fabio Kuranaka, fabio.kuranaka@sp.senai.br¹

Aristides Magri, arimagri@fem.unicamp.br²

¹Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange”, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima, 71 - São Bernardo

CEP: 13036-210 - Campinas – SP

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua: Mendeleyev, 200 - Cidade Universitária, Campinas - SP

Resumo: O setor produtivo da indústria metalmeccânica requer, para a sua sobrevivência, novos processos que objetivem a redução de custos por meio da utilização de novas tecnologias. Essa evolução, aliada às novas tecnologias de máquinas ferramenta mais rígidas e precisas, tem sido fundamental na substituição do processo de retificação cilíndrica pelo processo de torneamento de aços endurecidos. Nesse contexto, a utilização de ferramentas cerâmicas ou de CBN no torneamento do aço D6 endurecido com corte interrompido poderá possibilitar um menor custo na produção. Atualmente, por conta de sua alta dureza e baixa usinabilidade, é necessário retificar o aço D6 endurecido (temperado e revenido – 53 HRC) após a operação de torneamento, o que eleva o custo de produção. O objetivo principal deste trabalho é analisar o desempenho de ferramentas de corte de cerâmica e de CBN no torneamento do aço D6 endurecido com corte interrompido e sem sistema de refrigeração. Além de analisar a rugosidade superficial obtida pela variação de parâmetros de corte (v_c) mantendo constante o avanço e a profundidade de corte. Após os ensaios, foi feita uma análise das rugosidades obtidas pelos dois tipos de insertos; essas se mostraram similares às obtidas pelo processo de retificação cilíndrica. Isso indica que seria mais vantajoso para as empresas aderir ao processo estudado. Os resultados obtidos utilizando o inserto de cerâmica foram considerados mais promissores que os obtidos utilizando o inserto de CBN, pois a rugosidade superficial obtida com o inserto de cerâmica apresentou amplitudes baixas por mais tempo de corte, típicas do processo de retificação. Embora o inserto de CBN tenha gerado uma rugosidade superficial similar ao processo de retificação, esse inserto apresentou uma vida menor que o inserto de cerâmica quando ambos foram empregados com o mesmo parâmetro de corte.

Palavras-chave: torneamento; cerâmica; CBN; corte interrompido.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o torneamento de peças endurecidas é visto amplamente como uma alternativa eficiente e com boa relação custo/benefício. De acordo com Abrão e Aspinwall (1995), o torneamento de peças endurecidas (45-65HRC), geralmente é um processo de acabamento ou semi-acabamento com alta exigência de precisão dimensional e de acabamento superficial (Sandvik, 2016). Além disso, este processo de certa forma contribui com o meio ambiente devido à redução ou a não utilização do sistema de refrigeração, evitando o descarte do óleo solúvel no meio ambiente. (Diniz; Marcondes; Coppini, 2013).

Segundo Matsumoto (1998), o torneamento de materiais endurecidos tornou-se possível com o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte como as cerâmicas e o Nitreto de Boro Cúbico (CBN) que apresentam alta dureza e resistência ao desgaste a altas temperaturas, e máquinas ferramentas mais rígidas. Assim, acredita-se que todos esses fatores têm possibilitado o avanço nas pesquisas, tornando mais confiável e mais fácil substituir o processo de retificação tradicional pelo processo de torneamento, em casos específicos. Portanto, surge uma pergunta: qual a melhor ferramenta para se torner o material AISI D6 endurecido com corte interrompido?

O aço D6 endurecido, também conhecido como VC131, com corte interrompido apresenta elevada dureza com nível de usinabilidade baixa, fazendo com que este passe pelo processo de retificação, o que representa elevado custo de produção. A utilização de ferramentas cerâmica ou CBN no torneamento do aço D6 endurecido com corte interrompido poderá possibilitar um menor custo na produção.

O objetivo geral deste trabalho foi analisar e comparar o desempenho das ferramentas de corte cerâmica e CBN com geometria convencional com raio de ponta de 1,2mm, visando a melhor condição de torneamento do aço D6 endurecido com corte interrompido.

O objetivo específico foi analisar a rugosidade superficial promovida por meio da alteração do parâmetro de velocidade de corte mantendo fixa a profundidade de corte e o avanço, e analisar a vida da ferramenta.

2. PROPRIEDADE DAS FERRAMENTAS DE CORTE UTILIZADAS NO TORNEAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS

Para obter um ótimo desempenho, as ferramentas de corte para aços endurecidos precisam ter algumas propriedades que superam as ferramentas convencionais como o metal duro e o aço rápido, utilizado no torneamento de materiais com dureza inferior a 45 HRC. De acordo com Konig et al (1984), estas propriedades são:

- Alta resistência à compressão;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência a reações químicas;
- Alta tenacidade à fratura;
- Alta resistência à ruptura transversal (maior que 390N/mm²);
- Alta dureza a temperatura ambiente e a quente (maior que as ferramentas tradicionais de metal duro).

2.1. Materiais Cerâmicos

Os materiais cerâmicos começaram a ser utilizados como ferramentas de usinagem na década de 50, mas só passaram a ser utilizadas em grande escala na década de 80, após o desenvolvimento das propriedades cerâmicas (Matsumoto, 1998).

De acordo com (Diniz, Marcondes e Coppini, 2013) os inserts cerâmicos possuem importantes propriedades como: dureza a quente, resistência ao desgaste e estabilidade química, o que é muito importante quando se trabalha em altas velocidades de corte, evitando assim o fenômeno da difusão. Ainda segundo os autores, as ferramentas cerâmicas se dividem em 2 grupos conforme visto na Fig. (1) e suas propriedades principais são especificadas na Tab. (1):

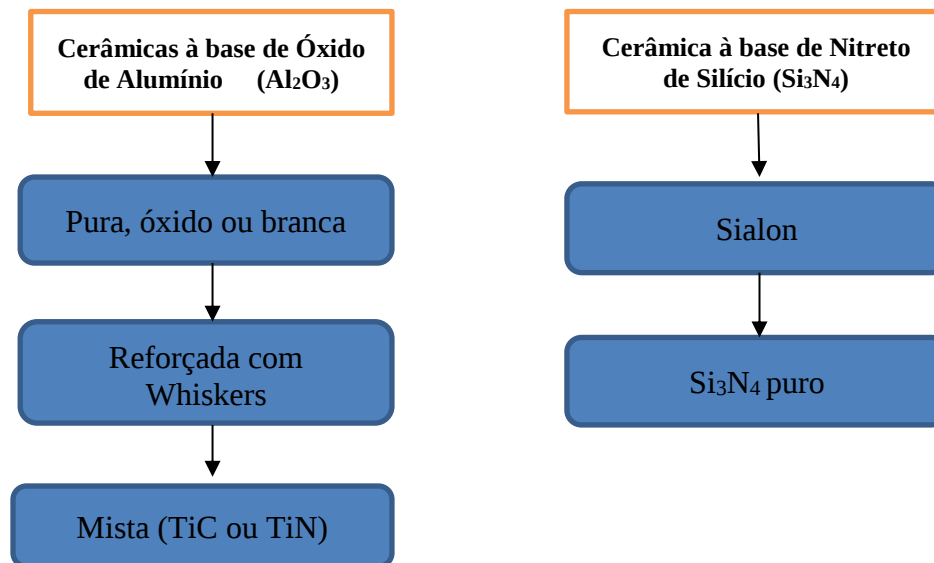


Figura 1. Grupos de cerâmicas (Autor).

Tabela 1. Propriedades dos insertos cerâmicos.

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Dureza (GPa)	Tenacidade K_{Ic} (Mpa.m ^{1/2})	Coefficiente de dilatação térmica (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Condutividade térmica (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
Al ₂ O ₃	400	17,2	4,3	8,0	10,5
Al ₂ O ₃ +TiC	420	20,6	4,5	8,5	13,0
Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	390	16,5	6,5	8,5	8,0
Si ₃ N ₄ / SIALON	300	15,6	6,5	3,1	9,7
SiC / WHISKER	390	18,5	8,0	6,4	32,0

Fonte: Adaptado Machado et al, 2011.

2.2. Nitreto cúbico de boro

O nitreto cúbico de boro é um material sintético obtido através da metalurgia do pó, com o uso de grãos monocristalinos de CBN, em que são sinterizados e transformados em blanks. Este processo de transformação ocorre com pressões de 5000MPa a 9000MPa e temperaturas de 1500°C à 1900°C, com a presença de um catalizador, (Diniz; Marcondes; Coppini, 2013). O CBN é o segundo material mais duro conhecido no mundo ficando atrás apenas do diamante, mantendo sua dureza acima da temperatura de 1000°C (Sandvik, 2016). Como mostra na Tab.(2):

Tabela 2. Dados quantitativos das principais propriedades.

Propriedades do material da ferramenta	Alumina reforçada com Whiskers	PCBN
Composição básica	75% Al ₂ O ₃ 25% SiC	98%CBN 2%AlB ₂ AlN
Densidade (g/cm ³)	3,7	3,1
Dureza à TA (HV)	2000	4000
Dureza à 1000°C (HV)	900	~1800
Resistência à fratura (Mpa m ^{1/2})	8	10
Condutividade térmica (W/m °C)	32	100
Coefficiente de expansão térmica (x10 ⁶ /k)	6,4	4,9
Módulo de Young (kN/mm ²)	390	680

Fonte: Adaptado Abrão,1995.

2.3 Desgaste de ferramenta de corte nos materiais endurecidos.

As formas mais comuns de desgaste nos insertos para materiais endurecidos ocorrem através do desgaste de flanco e craterização ilustrados pela Fig. (2) e Fig. (3), respectivamente. Sendo que estes processos de desgastes dependem de alguns fatores como: material da peça, classe do inserto, condições de corte, geometria da aresta e estabilidade da máquina (Sandvik, 2016).

Desgaste de flanco (VB) - é o mais comum, no qual é ocasionado entre o atrito ferramenta e peça. Devido à mudança na aresta de corte, a precisão dimensional é afetada juntamente com a rugosidade superficial. Seu principal mecanismo de desgaste é por abrasão (Diniz, Marcondes e Coppini, 2013).

Desgaste de cratera (KT) - ocorre na superfície de saída, ocasionada pela reação química entre ferramenta e peça. Este tipo de desgaste, caso não seja solucionado, pode causar a quebra. (Sandvik, 2016).

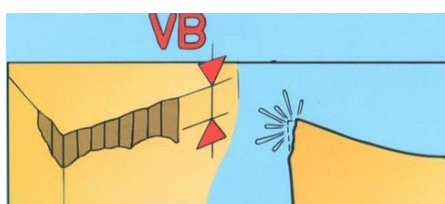


Figura 2. Ilustração do desgaste de flanco (Sandvik, 2016).

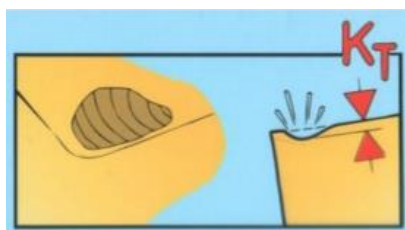


Figura 3. Ilustração desgaste de craterização (Sandvik, 2016).

3. RUGOSIDADE

A rugosidade é definida por erros microgeométricos resultantes de uma ação inerente ao processo de usinagem, onde pode ser medida por vários parâmetros, entre os parâmetros de rugosidade, o mais utilizado é o Ra (Machado et al, 2011).

Rugosidade média aritmética (Ra), é definido como sendo a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil em relação à linha média no comprimento de avaliação (Agostinho et al, 1995), conforme visto na Fig. (4):

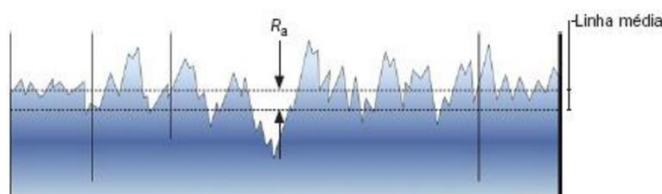


Figura 4. Parâmetro Ra (Sandvik, 2016).

A rugosidade no torneamento pode ser obtida teoricamente como mostra na Eq.(1) (Santos e Sales, 2007).

$$Ra = \frac{f_n^2}{18 \cdot \sqrt{3} \cdot r_e} \quad (1)$$

Onde:

f_n = avanço (mm/rot)

r_e = raio da ponta da ferramenta (mm)

4. MÁQUINA, FERRAMENTAS, MATERIAIS E INSTRUMENTOS

Para realização dos ensaios foi utilizado um Torno CNC da marca ROMI, modelo Galaxy 10, com potência de 15kw, rotação máxima de 4000rpm. O suporte dos insertos utilizado foi um DCLNL 2020K, modelo Coroturn RC, que permite a fixação rígida dos insertos com a substituição do grampo de fixação. O suporte apresenta um ângulo de folga de 7°, ângulo de saída de -6° ângulo de inclinação de -6° e ângulo de posição de 95°. Os insertos utilizados foram: cerâmica reforçada com Whiskers ($Al_2O_3 + SiC_w$) com código ISO CNGN120412 T01020, classe CC670, indicada para corte interrompido, e CBN com código ISO CNGA120412 T01020, classe CB7525, com 90% teor de CBN, também recomendado para corte interrompido. Ambos insertos possuem raio de ponta de 1,2mm e chanfro tipo T conforme visto na Fig.(5).

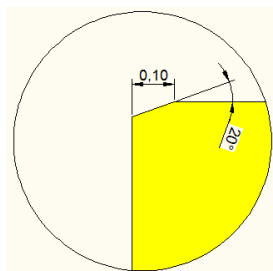


Figura 5. Detalhe da microgeometria dos inserts (Autor).

Foram fabricados 4 corpos de prova de aço AISI D6, temperado no forno à vácuo e em seguida revenido à 53HRC, com diâmetro de 70 mm x 130mm, com três rasgos equidistantes para o torneamento interrompido e tomou-se o cuidado em produzir um chanfro na entrada e saída da ferramenta, com o objetivo de diminuir o esforço de corte, mostrado na Fig. (6). Os corpos de prova foram fixados por placa hidráulica e contraponto para obter estabilidade. A Tab.(3) mostra a composição química do aço utilizado:

Tabela 3. Composição química do aço AISI D6.

Elemento	C	V	Si	Cr	Mn	W
Teor %	1,91	0,12	0,03	10,93	0,61	0,61

Fonte: SGS LABMAT.

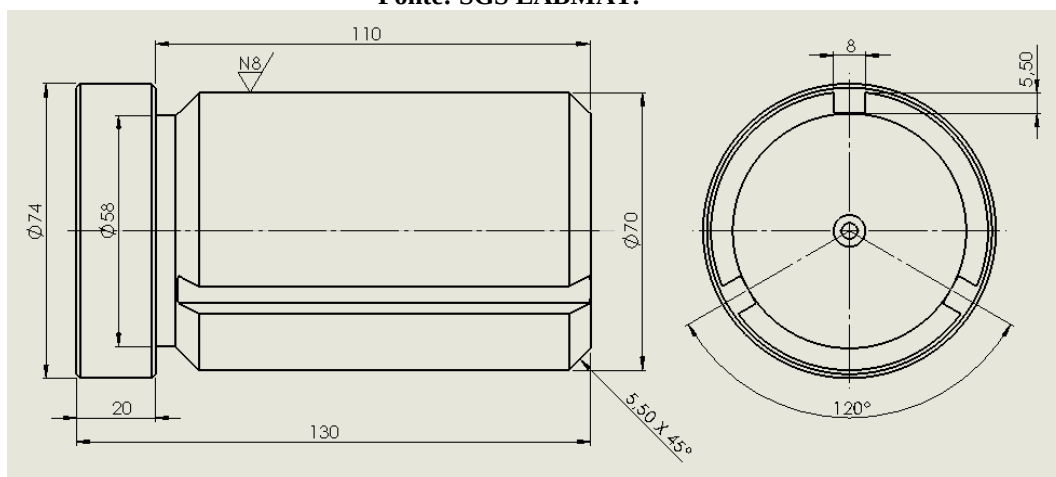


Figura 6. Desenho do corpo de prova (Autor).

Conforme a Fig. (7) foi realizado uma análise micrográfica no corpo de prova afim de verificar sua microestrutura e possíveis inclusões. Foi encontrada uma microestrutura homogênea típica de um aço ferramenta temperado e revenido composta por uma matriz martensítica com presença de pequenos carbonetos primários e secundários dispersos na matriz.

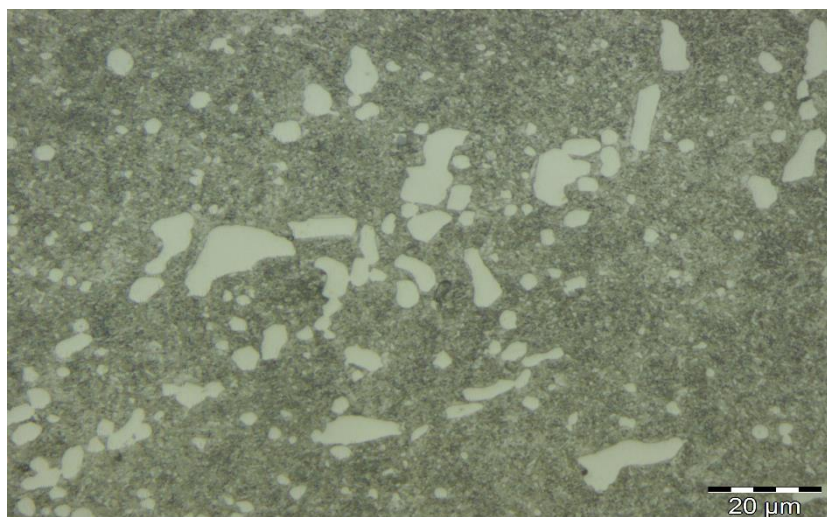


Figura 7. Microestrutura do corpo de prova com ampliação de 1000X.

4.1 Metodologia dos ensaios

Os ensaios foram realizados sem sistema de refrigeração, onde foi variada a velocidade de corte, mantendo fixa a profundidade de corte em 0,1mm e o avanço em 0,10mm. Para cada condição de ensaio foi realizado uma réplica. Os parâmetros de corte foram definidos conforme a Tab. (4):

Tabela 4. Parâmetros de corte utilizados.

<i>FERRAMENTAS</i>	v_c (m/min)	f_n (mm/rot)	a_p (mm)
CERÂMICA CC670	100	0,10	0,10
CERÂMICA CC670	150		
CBN 7525	100		
CBN7525	150		

Fonte: Autor.

Os ensaios consistiam em sucessivas passadas no torneamento axial, onde foi considerado um desgaste de flanco máximo $VB_{max} = 0,20$ mm. A cada dois ciclos de torneamento, o ensaio foi interrompido para medição do desgaste da ferramenta através de um projetor de perfil da marca Nikon com ampliação de 50x, e a medição da rugosidade média R_a por meio de um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo SJ-201.

5. RESULTADOS

A Fig.(8) mostra todos os resultados obtidos em termo de vida das ferramentas de cerâmica e de CBN. Nota-se uma superioridade da ferramenta cerâmica em comparação a ferramenta de CBN em termos de vida de ferramenta, em que o alto teor de CBN (90%) não foi importante para o corte interrompido. A ferramenta de cerâmica possui uma menor condutividade térmica, portanto, conduz menos calor na aresta de corte comparado com o inserto de CBN, gerando uma vida maior. Comprovou-se que a velocidade de corte mais alta pode gerar um aumento de vida para a ferramenta, pois em todos os ensaios notou-se um aumento significativo na vida das ferramentas com velocidade de corte de 150m/min ao invés de 100m/min. O aumento da velocidade de corte, gera um maior atrito, consequentemente, um calor maior na região do corte, enfraquecendo o material a ser removido e menor espessura do cavaco, o que facilita seu cisalhamento diminuindo o desgaste do inserto. O inserto de cerâmica obteve um rendimento superior de aproximadamente 40% utilizando uma velocidade de corte de 150m/min e até atingir um desgaste de flanco máximo de $VB_{max}=0,20$ mm. O inserto de CBN também obteve uma grande evolução com o aumento da velocidade de corte para 150 m/min, pois o volume de cavaco retirado triplicou, entretanto, seu tempo de vida foi bem abaixo comparado com a cerâmica CC670.

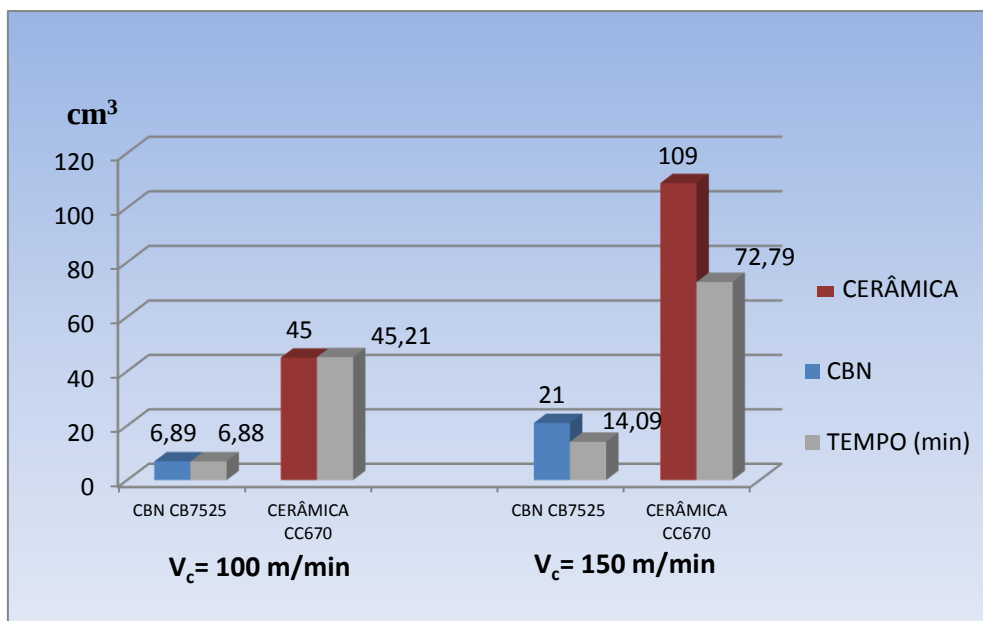


Figura 8. Volume de cavaco em função da velocidade de corte.

Observando as Fig. (9) e Fig. (10) a ferramenta de cerâmica obteve um tempo de vida maior com relação ao inserto de CBN, já que sua composição whiskers de carboneto de silício aumentou sua tenacidade, essencial na usinagem de peças com cortes interrompidos. Também os inserts de cerâmica atingiu 35 minutos de corte com uma rugosidade similar ao processo de retificação, que segundo (Diniz e Oliveira), é de no máximo $Ra = 0,80 \mu\text{m}$. Quanto ao inserto de CBN, apresentou uma rugosidade superficial abaixo de $Ra = 0,4 \mu\text{m}$ em toda sua vida, entretanto seu desgaste foi prematuro, chegando aproximadamente à 7 minutos de vida. A hipótese mais confiável é de que a baixa velocidade de corte empregada nos inserts de CBN tenha favorecido ao desgaste prematuro da ferramenta, visto que, com o aumento da velocidade de corte, o tempo de corte aumentou significativamente, pois dada as relações entre as condições de corte e o material proposta pela equação de Kienzle (1951), diminuiu a força de corte, dado que o atrito entre a peça e a ferramenta aumentaram, propiciando maior calor na região de corte e deformação plástica do material mais facilitada, de forma que a espessura do cavaco foi menor quando comparado com velocidades de corte menores.

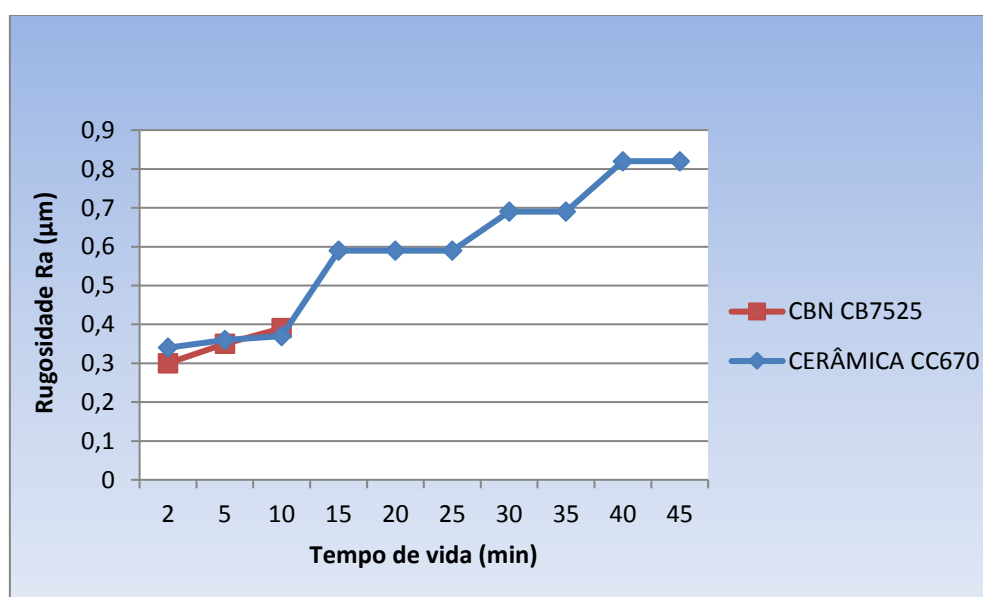


Figura 9. Rugosidade Ra x Tempo de corte para velocidade de 100m/min.

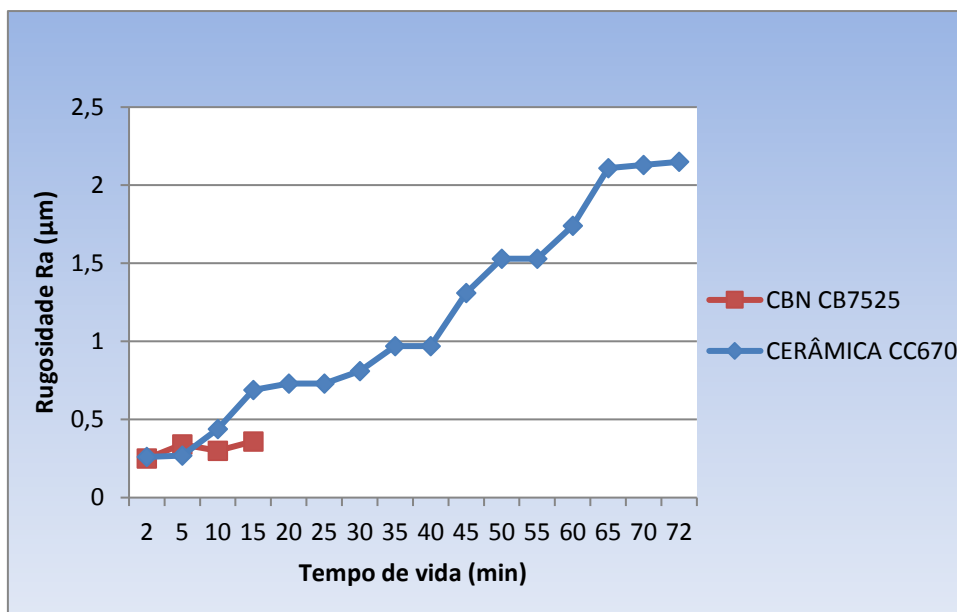


Figura 10. Rugosidade Ra x Tempo de corte para velocidade de 150m/min.

Os desgastes encontrados no inserto de cerâmica foi o de flanco como mostra na Fig.(11), para velocidade de corte de 100 m/min e 150m/min. Estes desgastes tem efeito muito negativo na rugosidade superficial e teve como principal mecanismo de desgaste a abrasão.

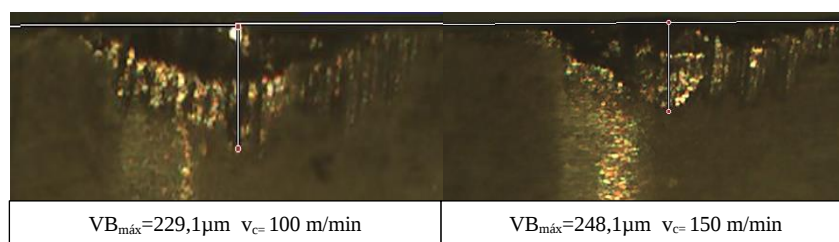


Figura 11. Desgaste do inserto de cerâmica.

Na Fig. (12), são apresentados o desgaste de flanco no inserto de CBN para velocidade de corte de 100 m/min e 150 m/min e um desgaste de flanco máximo $VB_{máx}=0,20\text{mm}$. Estes tipos de desgastes apresentados são bem típicos de usinagem de materiais endurecidos podendo ser controlados com alterações de parâmetros de corte.

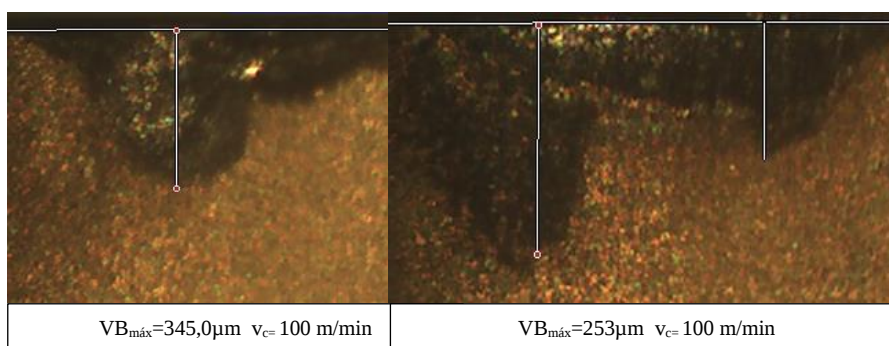


Figura 12. Desgaste do inserto de CBN.

6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- O inserto de cerâmica reforçada com Whiskers obteve maior vida da ferramenta que o inserto de CBN na operação de acabamento no processo de torneamento de aço endurecido com corte interrompido.
- A velocidade de corte teve grande influência na vida dos inserts testados.

7. AGRADECIMENTOS

A Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange”, Sandvik Coromant, I9 Ferramentas, Isoflama e SGS Labmat.

8. REFERÊNCIAS

- Abrão, A. M., 1995, “*The machining of annealed and hardened steels using advanced ceramic cutting tools*”, Tese (Ph.D). University of Birmingham, England.
- Abrão, A.M.; Aspinwall, D.K., 1995. “*Pastilhas de PCBN e Cerâmica facilitam e melhoram a usinagem de materiais duros.*” Máquinas e Metais, São Paulo, Brasil, p. 22-28.
- Agostinho, O. L.; Rodrigues, A.C.S.; Lirani, J., 2013, “*Tolerância, ajustes, desvios e análise de dimensões*”, 12ª impressão. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo.
- Santos, S. C; Sales, W. F, 2007, “*Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais*”, São Paulo: Artliber.
- NN, 2016-01. Catálogo técnico do fabricante de ferramentas, Sandvik Coromant. Torneamento de peças duras.
- Diniz, A. E., 2013, “*Tecnologia da usinagem dos materiais*”, São Paulo: Artliber.
- Diniz, A. E; Oliveira, A. J., “*Torneamento de Aço Endurecido com Superfícies Interrompidas usando Ferramentas de CBN*” Revista O Mundo da Usinagem, Brasil n. 2, p. 24-28.
- Konig, W, et. AL., 1984, “*Machining of hard materials*” Annals of the CIRP, v. 33/2, p. 417-427.
- Machado, A. R., Abraão, A. M., Coelho, R. T., & Silva, M. B. , 2012, “*Teoria da usinagem dos materiais*”, São Paulo: Blucher.
- Matsumoto, H., 1998, “*Uma contribuição ao estudo do processo de torneamento de aços endurecidos*”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, Brasil, 148 p.
- Sandvik, 2016, “*Medição de superfícies*”, Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/measuring_surfaces>. acesso em: 12 de nov. 2016.

9. DIREITOS AUTORAIS

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho”.

A comparative study between ceramic and carbide tools in the turning of hardened D6 steel with interrupted cutting

Wallyson Thomas Alves da Silva, wallyson.silva@sp.senai.br¹

Paulo Cesar Vieira, paulocnc1000@gmail.com¹

Marcelo Baraldi, marcelo.baraldi@sp.senai.br¹

Fabio Kuranaka, fabio.kuranaka@sp.senai.br¹

Aristides Magri, arimagri@fem.unicamp.br²

¹Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange”, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima, 71 - São Bernardo
CEP: 13036-210 - Campinas – SP

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Rua: Mendeleev, 200 - Cidade Universitária, Campinas - SP

Abstract: The productive sector of the metalworking industry requires, for its survival, new processes aimed at reducing costs through the use of new technologies. This evolution, coupled with new, more rigid and precise machine tool technologies, has been fundamental in replacing the cylindrical grinding process with the hardened steel turning process. In this context, the use of ceramic or CBN tools in the turning of hardened D6 steel with interrupted cutting may allow a lower production cost. Due to its high hardness and low machinability, it is necessary to rectify hardened D6 steel (tempered and tempered - 53 HRC) after the turning operation, which raises the cost of production. The main objective of this work is to analyze the performance of ceramic cutting tools and CBN in the turning of hardened D6 steel with interrupted cutting and cooling system. In addition to analyzing the surface roughness obtained by the variation of cutting parameters (v_c) keeping constant the advance and depth of cut. After the tests, an analysis of the roughness obtained by the two types of inserts was made; These were similar to those obtained by the cylindrical grinding process. This indicates

that it would be more advantageous for companies to adhere to the process studied. The results obtained using the ceramic insert were considered to be more promising than those obtained using the CBN insert, because the surface roughness obtained with the ceramic insert showed low amplitudes for longer cutting times, typical of the grinding process. Although the CBN insert generated a surface roughness similar to the grinding process, this insert had a shorter life than the ceramic insert when both were used with the same cutting parameter.

Keywords: turning, ceramic, CBN, interrupted cutting.