

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO GUME NO DESGASTE EM FERRAMENTAS DE PCBN NO TORNEAMENTO EM *PLUNGING*

Dilson José Aguiar de Souza, daguiar@unisinors.br¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf@emc.ufsc.br²

Walter Lindolfo Weingaertner, wlw@emc.ufsc.br²

Cleiton Rodrigues Teixeira, cleitonteixeira@furg.br³

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - Av. Unisinors, 950 - São Leopoldo, RS, Brasil, 93022-000.

² Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Laboratório de Mecânica de Precisão, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC, 88010-970.

³ Universidade Federal de Rio Grande - FURG, Escola de Engenharia, Grupo de Estudos em Fabricação e Materiais, Rua Eng. Alfredo Huch, 475 - Centro, Rio Grande, RS, Brasil, 96201-900.

Resumo: Características geométricas da quina da ferramenta, como o ângulo de chanfro, largura do chanfro e afiação do gume, entre outros, têm uma influência significativa na vida da ferramenta e determinam o acabamento da superfície e a integridade da peça usinada. O desgaste de ferramenta no flanco e na superfície de saída constitui uma alteração da geometria do gume, sendo esses desgastes um critério para fim de vida. A rugosidade da superfície normalmente aumenta à medida que aumenta o desgaste de flanco e o desgaste de cratera está ligado à confiabilidade do processo. Uma das soluções para amenizar o desgaste de flanco durante a usinagem de materiais endurecidos é a utilização de ferramentas com ângulo de inclinação do gume negativo e/ou gume reforçado por um pequeno arredondamento com a finalidade de resistir às altas forças de corte, as tensões e temperaturas que são geradas na região de corte. Forças axiais e radiais são em grande parte determinadas pela geometria do gume e tendem a aumentar com o aumento do arredondamento do gume de corte e/ou a adição de um chanfro. A geometria do gume de corte tem sido considerada uma das principais características para o sucesso na usinagem de materiais endurecidos com ferramentas de PCBN. A análise dos desgastes, causados pela variação da geometria do gume da ferramenta, que envolve este tipo de usinagem, se faz necessária quando se propõe a verificar o desempenho da ferramenta durante a usinagem de material endurecido, bem como o entendimento do processo. O objetivo desse trabalho consiste na verificação da influência da variação da geometria do gume da ferramenta no desgaste em insertos de PCBN e nas componentes da força de usinagem. Foi analisada a usinagem de duas ligas de aços-rápidos sinterizados endurecidos, sendo avaliado o desgaste das ferramentas juntamente com a análise das forças de corte e de avanço, obtidos através de ensaios com uso de plataforma piezométrica. A estratégia adotada para os ensaios foi de torneamento de *plunging*. Os resultados mostraram diferenças significativas para a usinagem de aço-rápido sinterizado endurecido, com relação à utilização de ferramentas com gume chanfrado e arredondado e ferramentas somente com gume arredondado. Os resultados mostraram diferenças para as duas ligas estudadas. Para a liga A, ferramentas com geometria de gume arredondado apresentaram melhor desempenho, enquanto que para a liga B, ferramentas com gume chanfrado e arredondado tiveram melhor desempenho. Estes resultados mostram que a geometria do gume tem influência no desempenho de ferramentas de PCBN.

Palavras-chave: PCBN, forças na usinagem, geometria de gume, *plunging*, desgaste.

1. INTRODUÇÃO

Novos processos para usinagem de materiais endurecidos, como o *plunging*, vêm sendo utilizado em torneamento em virtude da necessidade da usinagem de materiais endurecidos. Este processo é considerado altamente produtivo e usa a totalidade ou parte do gume de corte para criar um corte ortogonal. Embora no *plunging* empreguem-se pequenas profundidades de corte e taxas de avanço, estima-se que o tempo de usinagem possa ser reduzido em até 60% em relação ao torneamento convencional de materiais endurecidos e em até 90% com utilização de técnicas mais recentes (Huddle, 2002). Tanto o torneamento convencional como o torneamento em *plunging* em peças endurecidas vêm ganhando reconhecimento, devido aos menores custos com relação à retificação. Ambos são realizados em materiais com dureza na faixa de 45 a 65 HRC, usando uma variedade de insertos de PCBN (Nitreto Cúbico de Boro Policristalino) sólidos ou com camada total brasada sobre um substrato metal-duro. Estas ferramentas de PCBN possuem características relacionadas à geometria do gume (ângulo de chanfro, largura do chanfro e arredondamento do

gume), as quais têm uma influência significativa na vida da ferramenta determinando o acabamento da superfície e a integridade da peça usinada. Estas geometrias são alteradas por desgastes e avarias, influenciando na vida da ferramenta, no acabamento da superfície, na força de usinagem e na precisão dimensional da peça. Estes desgastes e avarias podem influenciar na confiabilidade do processo, uma vez que podem levar à falência instantânea devido à fratura ou lascamento do gume da ferramenta (Lahiff, 2007).

Considerando o contexto descrito, o objetivo deste trabalho é identificar e compreender a influência da geometria de gume de corte S (chanfrada e arredondada) e E (arredondada) no desgaste em ferramentas de PCBN e suas conseqüências na força de corte (F_c) e força de avanço (F_f) ao usinar duas ligas de aço-rápido sinterizado endurecido (ligas A e B) no processo de torneamento, tendo como estratégia, a operação de *plunging*.

Este estudo foi realizado a partir de uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, instituição de pesquisa e a empresa Bleistahl Brasil Metalurgia S. A., fabricante de peças em aço-rápido sinterizado endurecido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Torneamento em *plunging*

Desde a sua introdução, em meados da década de 1980, o processo de *plunging* tem aumentado em popularidade e, com isso, mais e mais fabricantes estão reconhecendo as suas vantagens. Devido ao custo de ferramentas de PCBN, em torno de 20 vezes mais do que ferramentas convencionais, muitos continuam a vê-lo como um processo caro. Aspectos que devem ser levados em conta no torneamento em *plunging* são o nível de tolerância dimensional, o acabamento da superfície das peças e a máquina-ferramenta. Para o sucesso da usinagem, neste processo, são necessários: uso de máquina-ferramenta extremamente rígida e de alta precisão; material da ferramenta de elevada dureza e resistência; geometria com ângulo negativo; grande ângulo de cunha; chanfro ou raio apropriado; gume arredondado; suportes de ferramenta com alta rigidez; e condições apropriadas de corte (König, 1984).

No torneamento convencional, que gera um sulco contínuo, o acabamento da superfície é largamente determinado pelo raio de quina da ferramenta, taxa de avanço, velocidade de corte e profundidade de corte. Em contrapartida, a qualidade da superfície de componentes torneados em *plunging* depende principalmente da qualidade do gume de corte da ferramenta e da velocidade de corte. Como resultado, os componentes usinados em *plunging* mostram baixa tensão residual na direção axial e propriedade de vedação igual ou melhor do que superfícies retificadas (Huddle, 2002).

O torneamento de materiais endurecidos, dentre eles o *plunging*, pode ser realizado com ferramenta de corte de PCBN, cerâmica e às vezes Cermet, sendo que para as aplicações mais exigentes de quantidade e acabamento, semelhantes aos de retificação, a escolha mais apropriada são as ferramentas de PCBN (Huddle, 2002). Ferramenta de PCBN é um composto formado de grãos de nitreto cúbico de boro (CBN) em uma matriz ligante (cerâmica ou metálica), classificado como material contendo alto e baixo teor de CBN. Ferramentas com alto teor CBN contêm aproximadamente 80-95% de CBN, com um ligante do tipo metálico e ferramentas com baixo teor podem conter de 40-70% de CBN, a maioria com matriz ligante à base de cerâmica. Quanto às propriedades das ferramentas de PCBN, apresentam elevada dureza, resistência à compressão, à flexão, ao desgaste, boa estabilidade química e boa resistência ao choque térmico, preenchendo assim vários requisitos importantes da engenharia da manufatura na aplicação em operações de usinagem com elevadas velocidades de corte e taxas de remoção (König, 2002).

2.2. Geometria de gume em ferramentas de PCBN

Quanto à geometria do gume de ferramentas de corte de CBN, estes podem ter a forma chanfrada e arredondada (Forma S) ou somente arredondada (forma E). Quanto a estas características, utilizadas em estudos de usinagem de materiais endurecidos por Thiele (2000), Özel (2003) e Lahiff (2007), a aplicação de um ângulo negativo com a forma do gume reforçado através de um chanfro arredondado tem a finalidade de suportar altas forças de corte, tensões e temperaturas geradas durante o processo. Estas geometrias de gume são mostradas na Fig. (1).

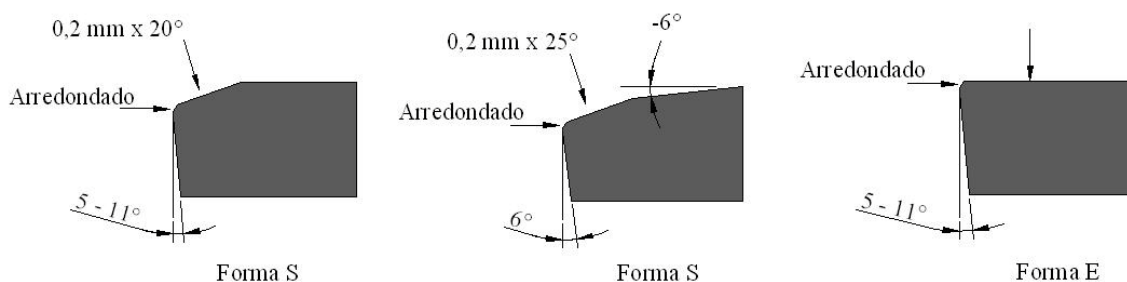


Figura 1. Insertos com forma S e E (Seco Tools, 2005).

Da mesma forma, ao usinar em corte contínuo aço Cr-Mo cementado (600-700 HV) com uma ferramenta de PCBN, Shintani *et al.* (1989) verificaram que a geometria da ferramenta é determinante para a vida da ferramenta. Ao definirem a vida da ferramenta pelo desgaste de flanco, observaram que a vida da ferramenta aumentou com o aumento da largura do chanfro até alcançar um ponto crítico e, após, se manteve constante. Esta largura crítica de chanfro foi encontrada como sendo igual ao comprimento de contato ferramenta-cavaco.

2.3. Desgaste em ferramentas de PCBN

Deve-se considerar o desgaste de ferramentas de PCBN durante a usinagem de materiais endurecidos, os quais podem acontecer de várias formas como: adesão, abrasivo, difusão e avarias. A adesão é proporcionada pela elevação da ductilidade do material, aderindo às superfícies da ferramenta, devido ao aumento da temperatura em virtude da velocidade de deslizamento peça/ferramenta, que degrada as propriedades do material da peça causando maior adesão às superfícies deslizantes da peça sobre a ferramenta causando desgaste na ferramenta de corte (Hooper, 1989; Luo *et al.*, 1999 e Farhat, 2003). Já o desgaste por abrasão, segundo Narutaki (1979), Luo *et al.* (1999) e Poulachon (2004), ocorre devido à presença de partículas duras da peça usinada e também por grãos de CBN da ferramenta de corte expostos pelo desgaste do ligante, facilitando sua remoção, contribuindo ainda mais para o desgaste abrasivo. No que diz respeito ao desgaste por difusão em ferramentas de PCBN, este é mais discutido em relação ao desgaste de cratera, onde Zimmermann *et al.* (1997) sugerem que esse desgaste possa ser causado pela dissolução do nitreto de boro durante o fluxo do cavaco pela ferramenta, devido às pressões e temperaturas extremamente elevadas na região. Forma-se assim uma cratera, deixando a superfície de saída da ferramenta rica em titânio e diminuindo conseqüentemente a dureza com relação ao restante da ferramenta, desgastando-a rapidamente. Avarias ocorrem devido a solicitações mecânicas e térmicas danificando o gume sendo classificadas como micro quebras, fissuras transversais e longitudinais, deformação plástica e quebra da ferramenta (Diniz, 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada consistiu na realização de ensaios sistemáticos de torneamento em corpos de prova em forma de anéis de aço-rápido sinterizado endurecido. Teve como estratégia o torneamento em *plunging*, captura da imagem do desgaste, medição do desgaste em *software* CAD e geração de gráficos, oriundos de tabelas com os valores de desgastes. Para ambas as ligas, A e B, foram realizados em cada corpo de prova 13 cortes de 0,4mm de comprimento em avanço intermitente, onde cada avanço intermitente simula a usinagem de um anel conforme processo realizado na empresa parceira. Neste processo os valores referentes às componentes da força de usinagem (F_c e F_f) foram obtidos com a utilização de plataforma piezométrica, sendo esta leitura efetuada de 20 em 20 anéis para liga A e de 2 em 2 para Liga B. Esta diferença foi devido à liga B apresentar um desgaste acentuado em pré-testes realizados. Os parâmetros de corte utilizados na primeira etapa na usinagem da liga A foram velocidade de corte de 100 m/min, avanço de 0,05 mm e profundidade de corte de 2,2 mm (largura de corte no *plunging*). Para a liga B, a profundidade adotada foi de 2,7 mm. Os ensaios experimentais foram realizados em um torno CNC, fabricante ROMI®, modelo GALAXY 20®, comando GE Fanuc 20i T, rotação máxima de 5000 rpm e potência de acionamento de 27 kW, no laboratório do Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico (NDT) do SENAI-CETEMP-RS.

3.1. Insertos e suporte

Os insertos utilizados nos experimentos foram de geometria de gume E (arredondada - TNGN110308E-LF-CBN200), Fig. (2a) e geometria S (chanfrada e arredonda - TNGN110308S-LF-CBN200), Fig. (2b). Em relação às características técnica dos insertos de PCBN, ambos são compostos de 85% de CBN, ligante cerâmico, tamanho médio de grão de 2 μm , condutividade térmica 94 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (Seco Tools, 2005). Estes insertos são obtidos a partir de discos de PCBN de espessura 0,8 mm brasados sobre substrato metal-duro. Uma imagem da estrutura do inserto obtida, em MEV, é mostrada na Fig. (2c), onde as partes escuras representam o CBN e a parte clara o ligante. As mesmas geometrias de gume utilizadas na usinagem da liga A foram utilizadas na segunda etapa durante a usinagem da liga B.



Figura 2. (a) Insertos com geometria S, (b) geometria E e (c) imagem obtida em MEV do inserto CBN200 (Seco Tools, 2005).

Já o suporte utilizado nos ensaios foi o CTJNL2525M11 com ângulo de folga 6°, ângulo de saída -6°, ângulo de inclinação -6°, ângulo de direção 95°, altura de 25 mm, largura 25 mm, fabricante Seco Tools.

3.2. Corpos de Prova

Em relação ao material dos corpos de prova, liga A e liga B, Fig. (3a) e (3b), fornecidas pela empresa Bleistahl para a realização da usinagem, apresentam composição química com base no pó de aço-rápido M2, com dureza aparente para ambas as ligas de 350 a 450 HB. As ligas em questão são utilizadas na fabricação de assento de válvulas para cabeçotes em alumínio de motores a combustão interna. Os corpos de prova possuem forma de anéis, retificados nas duas faces e no diâmetro externo, retirados da linha de produção de um mesmo lote de fabricação. Para avaliação dimensional foi retirada uma amostra de 10 peças, na qual foram verificados os seguintes dados: comprimento de 9,5 mm, diâmetro externo de 28,7 mm e diâmetro interno de 24,3 mm, resultantes da média calculada. Com os dados referentes às dimensões da amostra foi possível realizar a usinagem de forma sistemática em todos os corpos de prova.



Figura 3. Corpos de prova (a) liga A e (b) liga B.

A liga A possui estrutura martensítica, com carbonetos esferoidizados e lubrificante sólido uniformemente distribuído, com composição química modificada, em relação à liga M2, Fig. (4a), resultante da compactação da mistura, com sinterização em forno contínuo, tratamento termoquímico em forno poço (oxidação a vapor). Na Fig. (4b) é mostrada a liga B, de estrutura bainítica, com áreas ricas em carbonetos e cobalto, com lubrificante sólido uniformemente distribuído com composição modificada, em relação à liga M2, resultante da compactação da mistura; sinterização em forno contínuo; recozimento em forno contínuo; calibração com prensagem a frio e austêmpera.

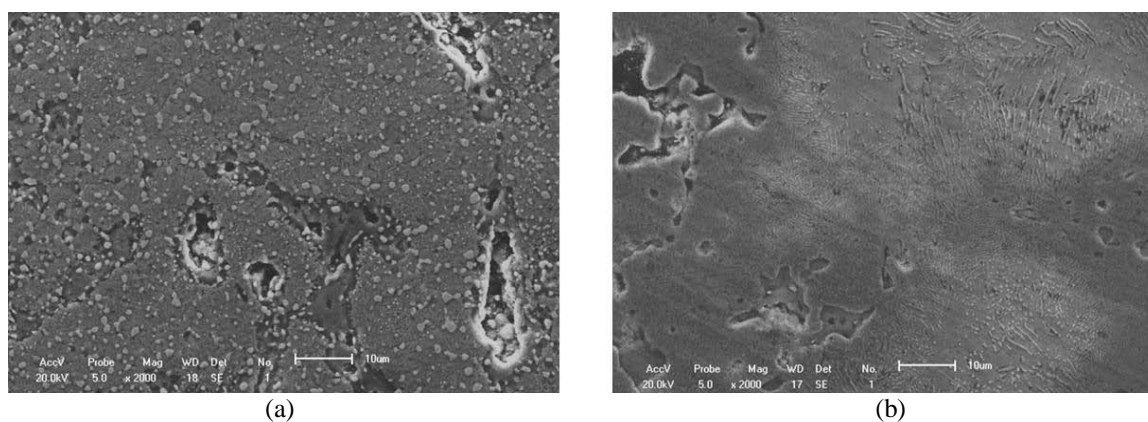


Figura 4. - Estrutura obtida em MEV (a) liga A e (b) liga B

Pode-se observar, quanto à composição das ligas, Tab. (1), as diferenças da liga A, nos elementos químicos C, Co, Mo, Cr e S e liga B, nos elementos C, Co, Mo, Cr, Ni, Mn e S, tendo como base pó de aço-rápido M2.

Tabela 1. Composições da liga A, liga B e pó de aço-rápido M2.

Liga		A	B	Pó M2
Composição Química [%]	C	0,7-1,1	0,8-1,2	0,75-0,85
	Co	5,5-6,5	9,0-11,0	<1,00
	Mo	6,0-7,0	1,5-2,5	5,00
	Cr	3,5-4,5	2,0-3,0	4,5-5,5
	Ni	----	1,0-2,0	----
	Mn	----	0,3-0,7	0,20-0,40
	S	1,0-1,4	0,3-0,7	<0,04
	Outros	2,0	2,0	----
	Fe	Restante	Restante	Restante

3.3. Arquitetura utilizada para os ensaios

No processo de ensaios realizados nas ligas A e B, foi utilizada a arquitetura do sistema de experimento, Fig. (5a), constituída de: (A) plataforma piezelétrica de medição de três componentes marca Kistler®, tipo 9257A, com canais de aquisição de dados dispostos nos eixos cartesianos x , y e z ; (B) dois amplificadores de sinais marca Kistler® tipo 5006; (C) placa de aquisição e conversão de sinais Modelo NI6009 da National Instruments®; (D) *software* de apresentação de resultados LabView2009®, também da National Instruments® instalado em um *notebook* Toshiba® para armazenamentos dos sinais obtidos, possibilitando sua posterior análise e tratamento. Já na Fig. (5b) pode-se visualizar a usinagem do corpo de prova, o qual foi fixado em castanhas usinadas especialmente para os ensaios. Também foi projetada e desenvolvida uma base para fixação da plataforma piezelétrica na torre do torno.

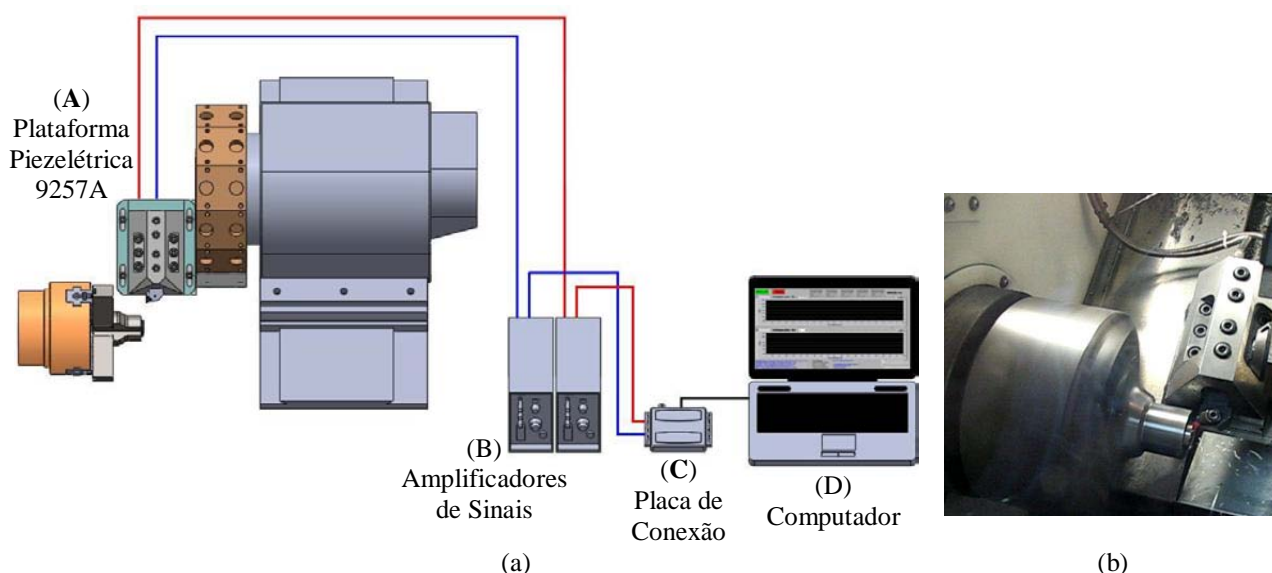


Figura 5. (a) Arquitetura do sistema experimental e (b) usinagem do corpo de prova.

3.4. Medição do desgaste

Após cada leitura das componentes, no anel número 20, o inserto foi retirado do suporte e montado em dispositivo desenvolvido, especialmente, para a fixação do inserto no estereoscópio, no qual foi realizada a aquisição das fotos do flanco em *software* CAD para posterior leitura do desgaste, representado no esquema da Fig. (6a). A aquisição das fotos para medição dos Desgastes de Flanco Médio (VB_B), ISO (1993), das ferramentas de PCBN foi realizada com um sistema de medição composto por um estereoscópio Zeiss Stemi SV6, com câmera acoplada Canon Power Shot A640, conexão remota USB e *software* AxioVision V4.6.3.0, Fig. (6b). Também foram obtidas imagens dos Desgastes Médios de Flanco ocorridos nas ferramentas, com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo JSM 5800, Fig. (6c), do Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, microscópio "analítico" que se destina ao estudo de amostras inorgânicas e orgânicas/poliméricas com restrições. O microscópio opera numa tensão de 0,1 a 30 kV com resolução máxima de 3 nm. Este pode ser utilizado em observações convencionais de imagem em elétrons secundários (SEI), imagens em elétrons retro-espalhados (BEI), micro-análises de difração por elétrons retro espalhados (EBSD) e micro-análise química elementar (EDS).

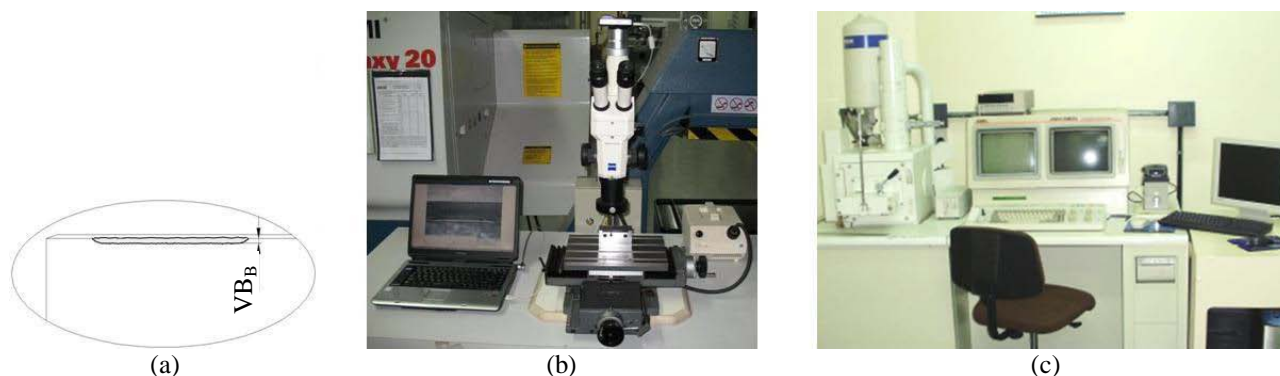


Figura 6. (a) Esquema da medição do desgaste, (b) sistema para medição do desgaste e (c) MEV

Na segunda etapa, na usinagem da liga B com os insertos de PCBN com geometrias S e E foram utilizados os mesmos parâmetros de corte da liga A, mesmo suporte de fixação do inserto, exceto a profundidade de corte que foi de 2,7 mm (largura de corte no *plunging*). Os corpos de prova usados na usinagem desta etapa foram preparados da mesma forma como na primeira etapa. Quanto aos valores dimensionais da amostra, em relação à liga A diferem no diâmetro externo de 32,6 mm e diâmetro interno de 27,3 mm. Nesta liga também foi possível realizar a usinagem de forma sistemática em todos os corpos de prova. Durante a usinagem dos corpos de prova da liga B foram realizados os mesmos cortes de comprimento avanço intermitente da liga A. Na usinagem desta liga a leitura das forças de corte e de avanço foi obtida seguindo a mesma sistemática da liga A, mas efetuada a cada 2 anéis, devido a esta acarretar elevado desgaste na ferramenta de PCBN utilizada.

4. RESULTADOS

Com base no levantamento de dados foram comparados os valores medidos ao longo do desgaste do inserto para cada gume ensaiado. Relativamente ao desgaste final da ferramenta estipulado para o inserto de geometria de gume E, na liga A, ocorreu após a usinagem de 510 anéis, enquanto que para os insertos de geometria S, após 180 anéis, com critério de fim de vida VB_B de 0,10 mm. Ao analisar o gráfico da Fig. (7a), os resultados apresentam diferenças significativas com relação ao desempenho dos dois gumes para a liga A, sendo que a ferramenta com gume chanfrado e arredondado apresentou desempenho menor ocasionado por falência instantânea antes de atingir o desgaste de flanco estipulado. A ferramenta com geometria de gume E apresentou desempenho melhor em torno de 40% comparado com a ferramenta com geometria de gume S, apresentando menores forças de corte e de avanço Fig. (7b). Este resultado contraria os estudos feitos por Thiele (2000), Özel (2003) e Lahiff (2007), que verificaram que ferramentas com gumes chanfrados reforçam o gume e suportam altas forças de corte, tensões e temperaturas geradas durante a usinagem.

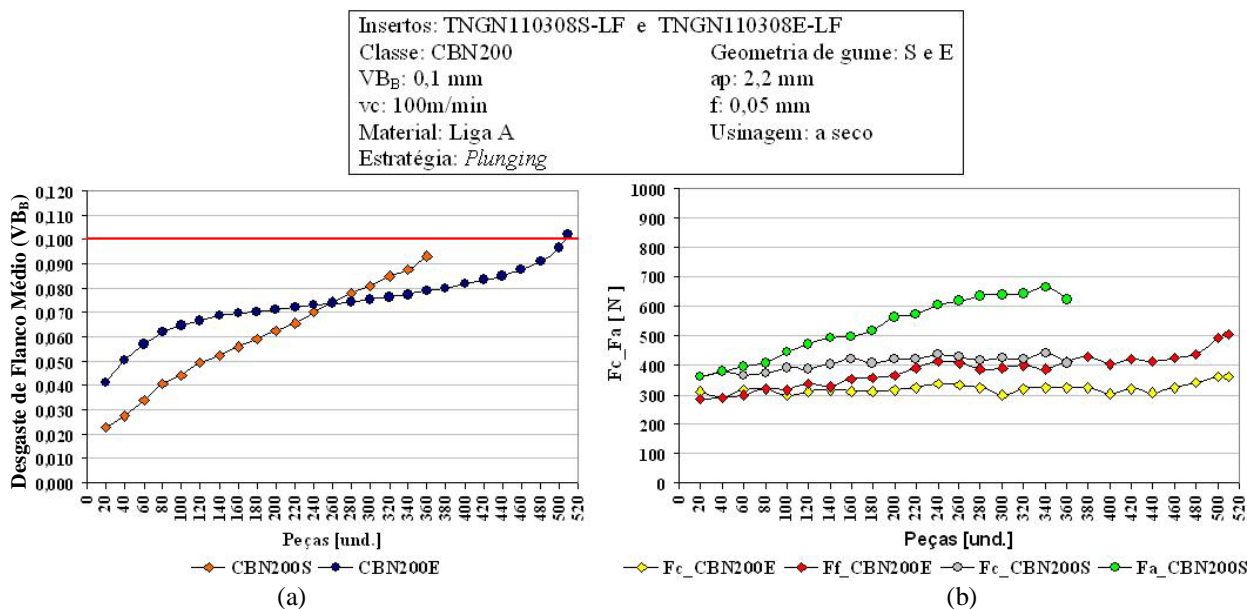


Figura 7. (a) Desgaste de flanco e (b) F_c e F_f para gume S e E, na usinagem da liga A.

Ao observar o gráfico da Fig. (8a), os resultados apresentam pequenas diferenças com relação ao desempenho dos dois gumes de corte na usinagem da liga B. A ferramenta com geometria de gume chanfrado e arredondado (S) apresentou desempenho melhor, em torno de 10% maior do que ferramentas com geometria de gume arredondado (E). Quanto à força de corte e força de avanço, Fig. (8b), os menores valores foram para a ferramenta com geometria de gume arredondado (E), confirmando estudos realizados por Özel (2003), que ferramentas com gume arredondado resultam em menores forças que em ferramentas com gume chanfrado (S). Em relação à diferença de desempenho entre ferramentas com geometria de gume S e E, este está relacionado, nesta liga, ao ângulo do chanfro e raio de arredondamento do gume de corte, à composição química e ao tratamento térmico, que acarretam diferentes mecanismos de formação de cavaco e diferente carregamento mecânico e térmico na ferramenta. A partir dos dados observados, verifica-se que nesta liga o valor do desgaste de flanco adotado, para ferramenta com geometria de gume S, aconteceu na usinagem do anel 22 e para geometria E, no anel 20. Observa-se, através do gráfico da Fig. (8b), que tanto para a F_c quanto para F_f , os valores ficaram muito próximos, ou seja, a geometria do gume de corte teve pouca influência nas forças de corte e de avanço durante a usinagem da liga B.

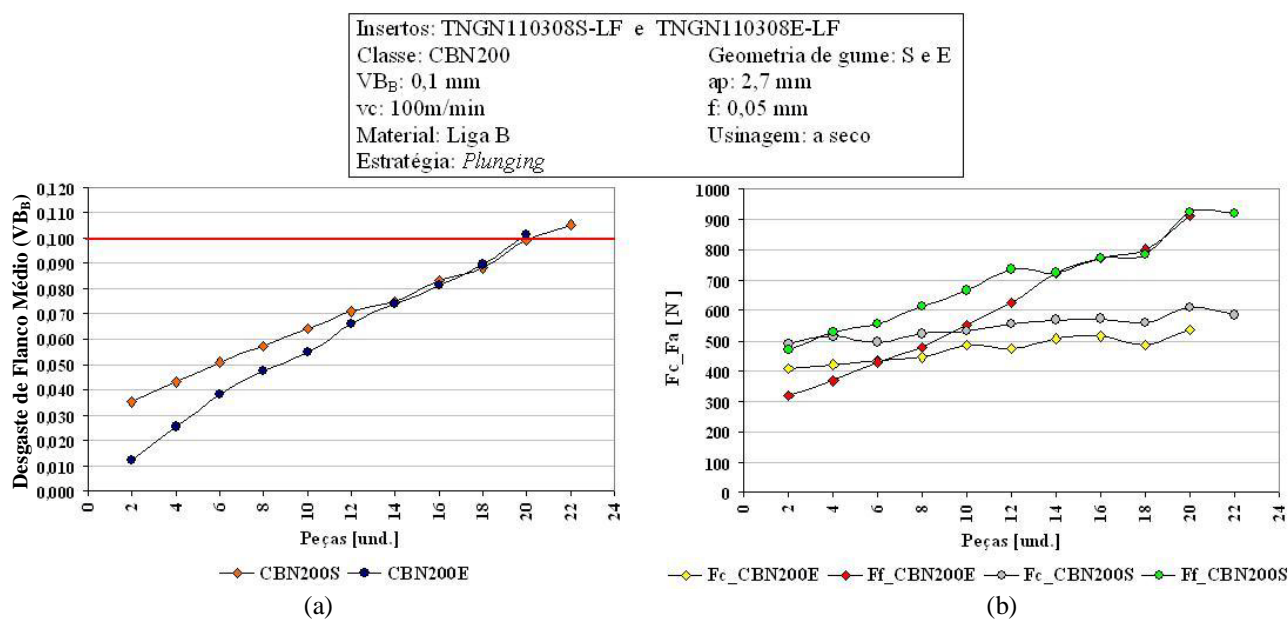


Figura 8. (a) Desgaste de flanco e (b) F_c e F_f para ligas Gume S e E, na usinagem da liga B

Em relação aos tipos de desgastes ocorridos durante os ensaios da liga A, verificou-se desgaste de cratera e de flanco, Fig. (9a), que ocasionaram variações nas forças de corte e de avanço. Para a geometria S, observa-se cratera com material aderido, causando avaria na ferramenta, fazendo com que o ensaio fosse interrompido antes do fim de vida pré-estabelecido. Resultados semelhantes aos encontrados neste ensaio foram apresentados por Dimla (2000), que verificou lascamentos como sendo originados por fadiga. Estes resultados também confirmam que avarias ocorrem devido a solicitações mecânicas e térmicas danificando o gume (Diniz, 2001). Para ferramentas com geometria de gume E, Fig. (9b), verifica-se a presença de material aderido à face de saída e dois micro-lascamentos (avarias).

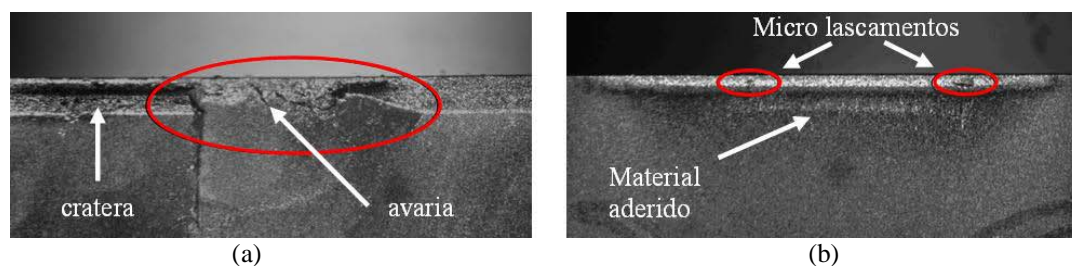


Figura 9. (a) Face de saída do cavaco para gume S e (b) gume E, na usinagem da liga A.

Com relação à liga B, usinada com ferramenta de geometria de gume S e E, Fig. (10a) e Fig. (10b), respectivamente, verifica-se presença de cratera, causado pelo deslizamento do cavaco na superfície de saída, oriunda da combinação dos mecanismos de desgaste por difusão e adesão, confirmando estudos realizados por Santos (2007).

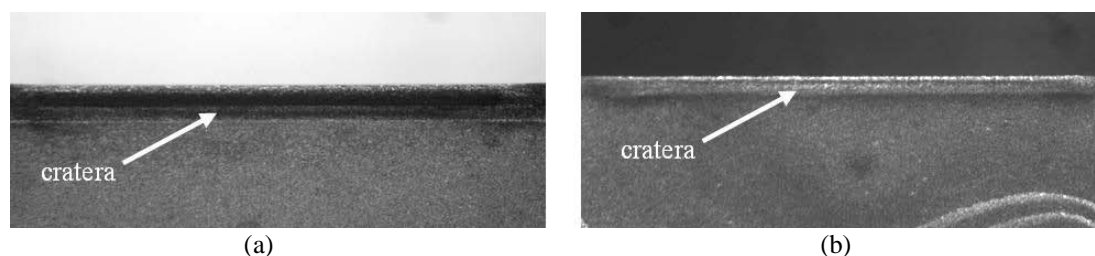


Figura 10. (a) Face de saída do cavaco para gume S e (b) gume E, na usinagem da liga B.

A imagem na Fig. (11a) mostra o desgaste de flanco da ferramenta com geometria de gume E ao usinar a liga A, realizada com MEV. Nesta figura, observa-se claramente, no aumento em detalhe, material aderido no flanco da ferramenta, composto por níquel, molibdênio, manganês, ferro e cobalto, oriundos da liga usinada durante os ensaios, verificados com EDS. Outra observação a ser destacada é a presença de micro-sulcos (micro-estrias), indicando a presença de mecanismo de desgaste abrasivo. Com base na análise dos dados, pode-se afirmar que ao usinar a liga A com ferramentas com geometria de gume E, a adesão e a abrasão foram os principais mecanismos de desgaste presentes

no flanco da ferramenta de corte. A adesão é decorrente da elevação da ductilidade do material, creditada ao aumento da temperatura em virtude da alta velocidade de deslizamento peça-ferramenta, que altera as propriedades do material da peça e causa maior adesão às superfícies deslizantes da peça sobre a ferramenta, causando conseqüentemente degradação na ferramenta de corte. O desgaste por abrasão, confirmado por estudos feitos por Narutaki (1979), Luo *et al.* (1999) e Poulachon (2004), ocorre devido à presença de partículas duras da peça usinada.

Com relação às alterações no flanco do inserto de geometria S, na usinagem da liga A, verifica-se no aumento em detalhe, Fig. (11a), material aderido no flanco da ferramenta e adesão causada pela elevação da ductilidade do material usinado. A análise química realizada por EDS na região do material depositado no flanco da ferramenta identificou a presença de Cr, Mn, Fe, Al, Si e S. O alumínio identificado no material aderido não faz parte da composição da liga usinada, mas é encontrada na composição do ligante da ferramenta de alto teor (CBN200). No detalhe em destaque, Fig. (11a), verifica-se a presença de micro-sulcos, caracterizando a presença de desgaste por abrasão. Na Figura (11b) pode-se observar a presença de lascamento, não alcançando o fim de vida estabelecido para o VB_B. Esta avaria, segundo Dimla (2000), pode ter sido originada por fadiga ou solicitações térmicas na região de corte.

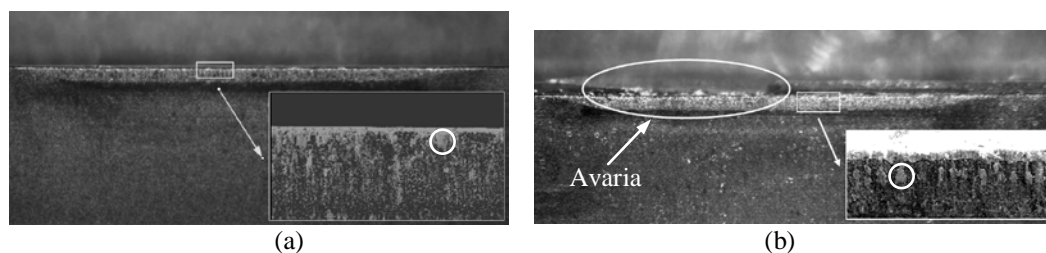


Figura 11. (a) Desgaste de flanco geometria E e (b) geometria S, liga A.

A Fig. (12a) mostra o desgaste por adesão ocorrido na ferramenta de geometria de gume E, usinando na liga B, onde se observa material aderido sobre o flanco da ferramenta (região ampliada). Este material depositado sobre o flanco da ferramenta apresenta em sua composição Fe, Co, Mn, S, Mo e Cr. O mecanismo de desgaste por adesão também foi observado Hooper (1989) e Farhat (2003), durante a usinagem de materiais endurecidos com uso de ferramentas de PCBN. Outro mecanismo de desgaste observado foi o desgaste abrasivo, causado principalmente pela presença de partículas duras da peça usinada, também confirmado por Narutaki (1979), Luo *et al.* (1999) e Poulachon (2004). A imagem da Fig. (12b) apresenta o desgaste da ferramenta após a usinagem da liga B. Nela se observa a presença de pouco material aderido próximo ao gume da ferramenta (região ampliada). Esta morfologia revela que parte do material depositado sobre a face da ferramenta foi oriunda da peça usinada, indicando o mecanismo de desgaste por adesão. Em relação ao material aderido, pela análise química, foi constatada a presença de Fe, Mn e Mo, materiais estes contidos na composição da liga usinada.

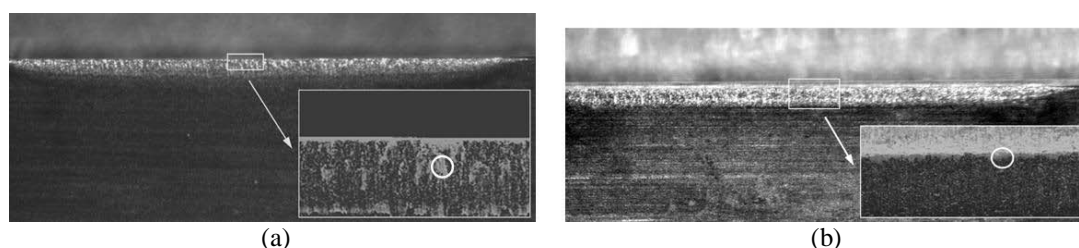


Figura 12. (a) Desgaste de flanco geometria E e (b) geometria S, liga B.

5. CONCLUSÕES

No estudo realizado sobre a influência da geometria do gume de corte em torneamento em *plunging*, os resultados obtidos pelos ensaios dos corpos de prova em relação à quantidade de peças usinadas mostram que a ferramenta com geometria de gume arredondado (E) na usinagem da liga A permitiu a obtenção de melhores resultados. Já para a liga B, a diferença entre os gumes foi pequena. Assim, conclui-se que a geometria do gume de corte teve maior influência na usinagem da liga A e menor influência na usinagem da liga B. Essa diferença deu-se, principalmente, devido à composição química e tratamento térmico realizado nas duas ligas.

Em relação ao desgaste de flanco da ferramenta de PCBN, durante a usinagem da liga A foi observada a presença de avaria na superfície de saída do cavaco na ferramenta com geometria de gume chanfrado e arredondado (S), antes de se alcançar o desgaste VB_B pré-determinado, devido às altas solicitações de tensões no gume ou fadiga térmica causada por variações da temperatura. Na ferramenta com geometria de gume arredondado (E) foi verificada a presença pequenas avarias (micro-lascamentos), causados possivelmente por altas solicitações de tensões no gume ou fadiga térmica.

Ao observar as diferenças nas componentes F_c e F_f , constata-se que para a usinagem da liga A, utilizando ferramenta com geometria de gume arredondado (E), que as forças apresentaram valores inferiores às forças da ferramenta com geometria de gume chanfrado e arredondado (S). Estas menores forças acarretam menores solicitações à ferramenta durante a usinagem. Quanto à ferramenta S, que apresentou maiores valores de forças, justificam-se esses maiores valores devido à presença de chanfro no gume da ferramenta. Maiores valores das componentes da força de usinagem foram verificados em estudos por vários autores, onde ferramentas chanfradas apresentaram maiores valores para as componentes da força de usinagem. Já para a liga B, a diferença entre as forças não foi significativa. Esta variação de resultados advém principalmente da diferença de tratamento térmico e de composição existente entre as duas ligas estudadas.

Para a escolha da geometria de gume de corte na usinagem de determinada liga, com base nos ensaios realizados nos corpos de prova, é recomendável a realização de estudos envolvendo pré-testes com a finalidade de identificar o melhor desempenho. Em estudos que envolvam a usinagem de ligas de aço-rápido sinterizado, com diferente tratamento térmico e composição química com ferramentas de PCBN, é fundamental a parceria entre a universidade e as empresas, pois a doação do material de alto custo para realização de ensaios em troca de informações para melhorar o desempenho do processo contribui, de forma significativa, para o aprimoramento do conhecimento inferido por estudos já realizados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas e instituições Bleistahl Brasil Metalurgia S/A-RS, SENAI-CETEMP-RS, UNISINOS-RS, Centro de Microscopia Eletrônica (CME)-UFRGS e Seco Tools, sendo estas colaborações de fundamental importância para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Dimla E., Dimla A, 2000, "Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations: a review of methods" International Journal of Machine Tools & Manufacture, nr. 40, pp. 1073-1098.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N., 2001, "Tecnologia da usinagem dos materiais", Ed. Artliber, São Paulo, Brasil, 244 p.
- Farhat, Z.N., 2003, "Wear mechanism of CBN cutting tool during high-speed machining of mold steel". Materials Science Engineering, A361, pp. 100-110.
- Hooper R.M., Shakib J.I., Parry A., Brookes C.A., 1989, "Mechanical properties, microstructure and wear of DBC50", Industrial Diamond Review, Vol. 49, pp. 170-173.
- Huddle D., 2002, "A new direction for turning: plunge turning can be a cost-effective grinding alternative", Manufacturing Engineering. Vol. 128, nr 4.
- International Organization for Standardization, 1993, "ISO 3685: tool life testing with single-point turning tools", 2ed. Genève, 48p.
- König W., Komanduri R., Tönshoff H.K., Ackerschott G., 1984, "Machining of hard materials", Anais CIRP, 32 (2) pp. 417-427.
- König, W., Klocke, F., 2002, "Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren", Ed. Berlin; Heidelberg, New York: Springer Verlag, 471 p.
- Lahiff, C., Gordon S., Phelan P., 2007, "PCBN tool wear modes and mechanisms in finish hard turning". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 23, pp. 638-644.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S., Tsai, Y.Y., 1999, "Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 88, pp. 114-121.
- Narutaki N., Yamane Y., 1979, "Tool wear and cutting temperature of CBN tools in machining of hardened steels", Anais do CIRP Vol. 28, pp. 23-28.
- Özel T., 2003, "Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools". Journal Materials Processes Technology, Vol. 141, pp.284-293.
- Poulachon G., Bandyopadhyay B. P., Jawahir I. S., Pheulpin S., Seguin E., 2004, "Wear behaviour of CBN tools while turning various hardened steels". Wear, Vol. 256, pp. 302-310.
- Santos, S.C., Sales, W.F., 2007, "Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais". Ed. ArtLiber, São Paulo, 250p.
- Seco Tools, 2005, "Secomax PCBN: Technical Guide 2006". Ed. Grafiska Byran Örebro/PA Group Karistad - Fagersta, Sweden.
- Shintani K., Ueki M., Fujimura Y., 1989, "Optimum tool geometry of CBN tool for continuous turning of carburized steel". Int Journal Machining Tools Manufacturing, Vol. 29, pp. 403-413.
- Thiele J.D., Melkote S.N., 2000, "Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel", ASME. Journal Manufacturing Science. Vol. 122, pp. 467-479.
- Zimmermann M., Lahres M., Viens D. V., Laube B.L., 1997, "Investigations of the wear of cubic boron nitride cutting tools using Auger electron spectroscopy and X-ray analysis by EPMA", Wear, Vol. 209, pp. 241-246.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.

CUTTING EDGE GEOMETRY INFLUENCE STUDY IN PCBN TOOLS WEAR ON PLUNGING TURNING

Dilson José Aguiar de Souza, daguiar@unisinis.br¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf@emc.ufsc.br²

Walter Lindolfo Weingaertner, wlw@emc.ufsc.br²

Cleitton Rodrigues Teixeira, cleitonteixeira@furg.br³

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - Av. Unisinis, 950 - São Leopoldo, RS, Brasil, 93022-000.

² Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Precision Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC, 88010-970.

³ Universidade Federal de Rio Grande - FURG, School of Engineering, Study Group on Manufacturing and Materials, Street Eng. Alfredo Huch, 475 - Center, Rio Grande, RS, Brasil, 96201-900.

Abstract: *The tool tip geometrical characteristics, such as chamfer angle, chamfer width and sharpness of the edge, among others, have a significant influence on tool life and determine the surface finish and integrity of the workpiece. The tool flank face and output surface wear constitutes a change in the edge geometry, being these wear a criterion for the end of the life. The surface roughness normally increases with increasing flank wear and crater wear is alloyed on the process reliability. One solution to decrease the flank wear during machining of hardened materials is the use of tools with rake angle of the negative edge and / or reinforced by a small edge rounding in order to withstand the high cutting forces, stresses and temperatures that are generated in the cutting region. Axial and radial forces are largely determined by the edge geometry and tend to increase with the cutting edge rounding increasing and / or the addition of a bevel. The cutting edge geometry has been considered one of the key features for success in machining hardened materials with PCBN tools. The analysis of the wear caused by the variation of the tool's cutting geometry, which involves this type of machining, is required when one seeks to verify the tool performance during hardened material machining, as well as understanding the process. The aim of this work consists in verifying the cutting geometry influence in the PCBN inserts wear and in the force components machining. The two alloy hardened sintered high-speed steel was analyzed, the tool's wear has being evaluated with the analysis of cutting and feed forces, obtained by testing with the use of piezoelectric platform. The strategy adopted for the tests was plunging turning. The results showed significant differences for the hardened sintered high-speed machining, with respect to the use of tools with rounded and chamfered edge and tools with only rounded edge. The results showed significant differences in the two alloys studied. For alloy A, tools with rounded edge geometry performed better, while for the alloy B, tools with rounded and chamfered edge performed better. These results show that the cutting geometry has influence on the performance of PCBN tools.*

Keywords: *PCBN, forces in machining, cutting edge geometry, plunging, wear.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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