

ANÁLISE DO DESGASTE NO PROCESSO DE DESBASTE DO AÇO ABNT 1045

Rodrigo Panosso Zeilmann, rpeilma@ucs.br¹
Gerson L Nicola, glnicola@ucs.br¹
Alfredo Tomé, aftome@hotmail.com¹
Matheus Vidor, mvidor@ucs.br¹
Fernando Bordin, fernbordin@hotmail.com¹

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130. Caxias do Sul – RS – 95001-970

Resumo: A operação de fresamento é uma das mais importantes entre os processos de fabricação. O avanço tecnológico das máquinas-ferramenta permite a usinagem com velocidades de corte cada vez mais elevadas, o que acarreta em maiores solicitações térmicas e mecânicas, influenciando fortemente no fim de vida das ferramentas. A previsão de vida útil de uma ferramenta é de grande importância para o planejamento do processo. Geometrias apropriadas e boas definições dos parâmetros de corte são aspectos fundamentais. O desgaste resultante do processo deve-se da interação entre a ferramenta e a peça, dependendo das condições de usinagem. Uma das formas utilizadas para melhorar a resistência ao desgaste é a utilização de revestimentos, que melhoram as propriedades mecânicas da superfície das ferramentas como dureza, estabilidade química, térmica, redução do coeficiente de atrito, entre outros. Nesse contexto, o estudo tem por objetivo avaliar desgaste e vida da ferramenta analisando geometria, classe e revestimentos das mesmas na usinagem do aço ABNT 1045. Verificou-se o fim de vida da ferramenta, além de observar quais as melhores condições de usinagem.

Palavras-chave: Usinagem, Parâmetros de Corte, Mecanismos e Tipos de Desgaste, Seleção de Ferramenta.

1. INTRODUÇÃO

O processo de fresamento é um dos processos mais utilizados na indústria manufatureira. As pesquisas atualmente apresentam como foco principal o aumento na taxa de remoção de material e uma produção cada vez mais rápida, o que acarreta em aumento das solicitações térmicas e mecânicas das ferramentas de corte. O fim de vida de uma ferramenta está relacionado ao desgaste sofrido pela mesma durante o tempo de usinagem (König e Klocke, 2002).

Com o aumento do tempo de vida das ferramentas, pode-se obter redução dos custos de produção, uma vez que os tempos relativos à substituição de ferramentas representam uma porção significativa dos custos totais das indústrias de manufatura. Além da redução de custos, maiores vidas de ferramentas e o conseqüente menor número de paradas para troca de ferramentas possibilitam significativos ganhos de produtividade (Lim e Lim, 2001).

O aumento da produtividade requer o envolvimento de todas as operações de produção, a possibilidade de utilização total ou ativação de todas as facilidades de fabricação disponíveis. A fim de envolver todas as operações tecnológicas, deve-se levar em consideração processos de seleção das melhores ferramentas (Saglam et al., 2007). Durante o processo de corte, as instabilidades regenerativas são afetadas por muitos fatores, como propriedades da ferramenta, peça, materiais, rigidez da máquina, parâmetros de corte, entre outros (Xiao et al., 2006). Portanto, existem diversos fatores que influenciam a vida da ferramenta, e a especificação da ferramenta é um dos mais importantes.

Dentre os elementos a serem analisados na escolha da ferramenta para o processo de usinagem está a classe da ferramenta, que deve ser apropriada ao material que será usinado. Para a escolha da classe deve-se levar em consideração aspectos como tenacidade e dureza da ferramenta. Exemplos comprovam que para processos de remoção de material, é necessário um equilíbrio entre essas duas propriedades (Atkins, 2009).

Outro fator importante a ser considerado é a geometria da ferramenta, pois esta tem influência na redução das forças de corte (Saglam et al., 2007). A geometria da ferramenta também tem um importante papel no controle do calor. Nas ferramentas de corte, a geometria deve permitir a remoção do cavaco, a fim de levar o calor para fora com ele, e também deve permitir um corte mais suave, menor vibração e redução das forças de corte (Habeeb et al., 2008). O terceiro elemento fundamental na especificação de ferramentas é o tipo de revestimento. A aplicação de revestimentos permite a utilização de maiores velocidades de corte, devido à maior resistência ao desgaste, resistência térmica e

diminuição da tendência à adesão, sem perda da tenacidade inerente à ferramenta (Hogmark et al., 2000). O revestimento é um método eficaz para melhorar a durabilidade dos materiais utilizados em ambientes agressivos. Ao selecionar bons métodos e materiais de revestimento, pode-se prolongar a vida útil do material da ferramenta (Jianxin et al., 2008).

Com boas estratégias e escolhas das condições de usinagem, é possível diminuir a ação de alguns fatores indesejáveis, pois, sendo o processo de desbaste caracterizado por ser um processo severo, o gume da ferramenta de corte sofre elevadas solicitações térmicas e mecânicas, proporcionando a ação de diversos mecanismos de desgaste que atuam simultaneamente no sentido de degradar a ferramenta (Teixeira, 2001). Na operação de fresamento, os principais mecanismos de desgaste são a abrasão e a adesão. O desgaste por abrasão se deve ao arrancamento de finas partículas de material, em decorrência do escorregamento sob alta pressão e temperatura entre a peça e a ferramenta. Já o desgaste por adesão decorre da aderência entre o material da peça e as asperezas superficiais da ferramenta, que se deve à ação das altas temperaturas e pressões presentes na zona de corte (Stemmer, 2005).

Portanto, além da escolha de ferramentas apropriadas, o processo deve ter um bom planejamento. Construindo mapas para usar estas ferramentas, pode-se chegar a uma situação de equilíbrio entre produtividade (em termos de taxa de remoção de material) e taxa de desgaste da ferramenta (Lim e Lim, 2001).

Neste contexto, este estudo tem por objetivo avaliar o desgaste e a vida das ferramentas, avaliando geometria, classe e revestimentos das mesmas, na usinagem do aço ABNT 1045. Verificou-se o fim de vida da ferramenta, além de observar quais as melhores condições de usinagem.

2. METODOLOGIA

Foram realizados ensaios de fresamento de longa duração, no chão fabril, com avaliação sistemática da evolução do desgaste das ferramentas de corte. Como critérios de fim de vida das ferramentas ou fim de ensaio foram adotados: desgaste de flanco máximo $VB_{\max} = 0,6$ mm; lascamentos; ou volume usinado de 2160 cm^3 (correspondente a um número de passes pré-definido no corpo-de-prova).

A máquina-ferramenta utilizada para a realização dos ensaios experimentais foi um Centro de Usinagem Okuma Ace Center MB-46 VAE, com rotação máxima de 15.000 rpm e potência de 18,5 kW. Para a avaliação e medição do desgaste das ferramentas foi utilizado um estereoscópio trinocular de medição universal. A Fig. (1) mostra as imagens da máquina-ferramenta e do estereoscópio utilizados.



Figura 1. Máquina-ferramenta e sistema de avaliação de ferramentas utilizados nos ensaios experimentais.

O material dos corpos-de-prova utilizados foi o aço ABNT 1045, em estado normalizado, com dureza aproximada de 180 HV. A ferramenta utilizada foi um cabeçote de pastilhas intercambiáveis com diâmetro de 52 mm. Todos os ensaios se deram com a utilização de apenas um inserto no cabeçote ($z = 1$). Foram avaliados três modelos de insertos de metal-duro, com classes e revestimentos diferentes, como pode ser observado na Tab. (1), e geometrias distintas, como mostra a Fig. (2). As ferramentas foram pré-avaliadas, a fim de verificar possíveis alterações geométricas, trincas ou problemas de fabricação que pudessem influenciar os resultados.

Tabela 1. Características dos insertos utilizados nos ensaios experimentais.

Ferramenta	Formato	Diâmetro	Classe ISO (Metal-Duro)	Revestimentos
Inserto A	Toroidal	12 mm	N 10-25 / H 10-20	TiAlN - TiN
Inserto B			P 20-40 / M 20-35 / S 15-25	TiCN - Al_2O_3
Inserto C			P 20-40 / M 20-35 / S 15-25	TiCN - Al_2O_3

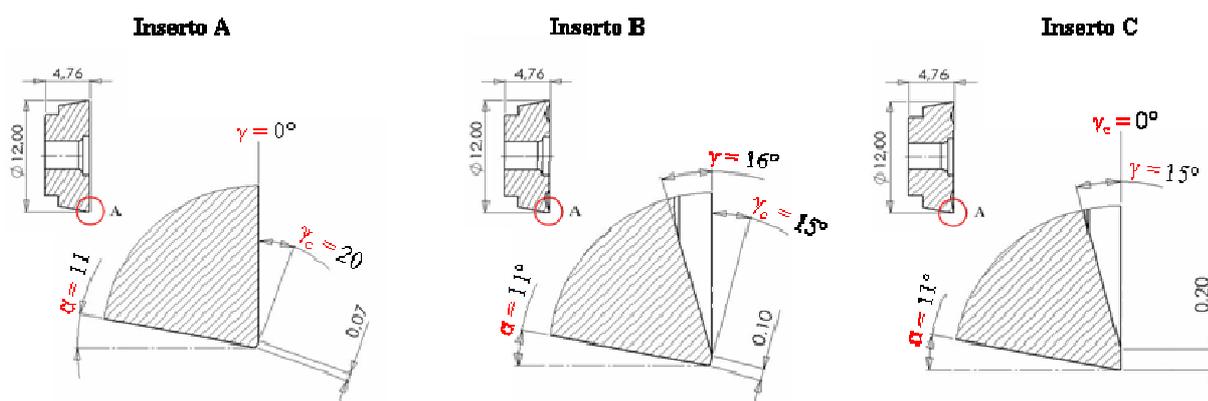


Figura 2. Desenho esquemático dos gumes dos três insertos empregados nos ensaios.

A Tab. (2) mostra os parâmetros de corte empregados nos ensaios. Estes valores foram adotados com base nos resultados obtidos em pré-testes e em informações fornecidas pelo fabricante das ferramentas para a usinagem de desbaste. Os ensaios foram realizados a seco, isto é, sem utilização de fluido lubri-refrigerante.

Tabela 2. Parâmetros de corte utilizados nos ensaios de desbaste.

Velocidade de corte v_c [m/min]	Avanço por gume f_z [mm]	Profundidade de corte a_p [mm]	Incremento lateral a_e [mm]
250	0,45	1,00	36,00

3. RESULTADOS

A diversificação de ferramentas oferece uma vasta gama de geometrias, materiais e revestimentos para as mais diversas aplicações. Os avanços tecnológicos estão em franco crescimento para as ferramentas e máquinas-ferramenta, chegando a níveis de elevada excelência. Contudo, o desempenho esperado só é obtido se houver uma completa adequação do processo.

Portanto, ao se escolher uma ferramenta de corte é imprescindível ter conhecimento das propriedades do material a ser usinado e da máquina-ferramenta disponível. Em todos os processos de usinagem, características como formação e saída do cavaco, forças de corte, desgastes e os resultados do trabalho são consideravelmente influenciados pela ferramenta de corte utilizada, a qual deve estar adequada ao material a ser usinado e à máquina-ferramenta disponível (Konig e Klocke, 2002; Fang e Wu, 2005).

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados. Com base nos resultados obtidos, foram realizadas análises de volume usinado, desgaste da ferramenta e tempos de usinagem. É importante salientar que os ensaios foram realizados com um único inserto ($z = 1$), como mostra a Fig. (3), que também apresenta o gráfico do volume usinado juntamente com os respectivos desgastes apresentados pelos três modelos de insertos avaliados.

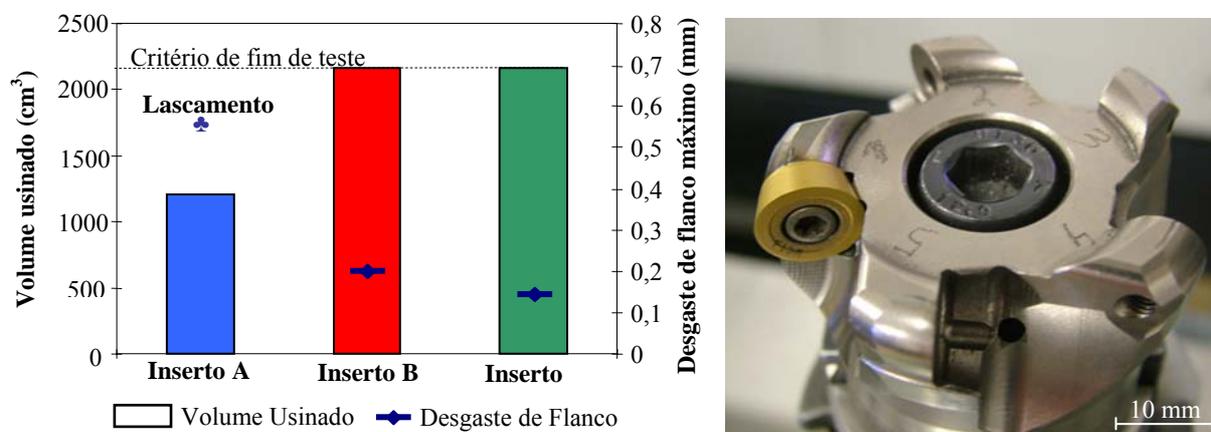


Figura 3. Gráfico do volume usinado e do desgaste de flanco máximo apresentado.

Analisando a Fig. (3) observa-se que a primeira ferramenta ensaiada (inserto A) obteve até o seu fim de vida um volume usinado de 1200 cm^3 , em 60 min de trabalho. Os demais insertos, B e C, não atingiram o fim de vida, apresentando um $VB_{\text{máx}}$ de 0,20 e 0,14 mm, respectivamente. Ambos registraram, em 90 min, o volume usinado estipulado para o fim do ensaio de 2160 cm^3 .

Para uma melhor compreensão dos resultados alcançados, realizou-se uma análise do comportamento de desgaste ao longo do tempo de corte, o qual é apresentado na Fig. (4).

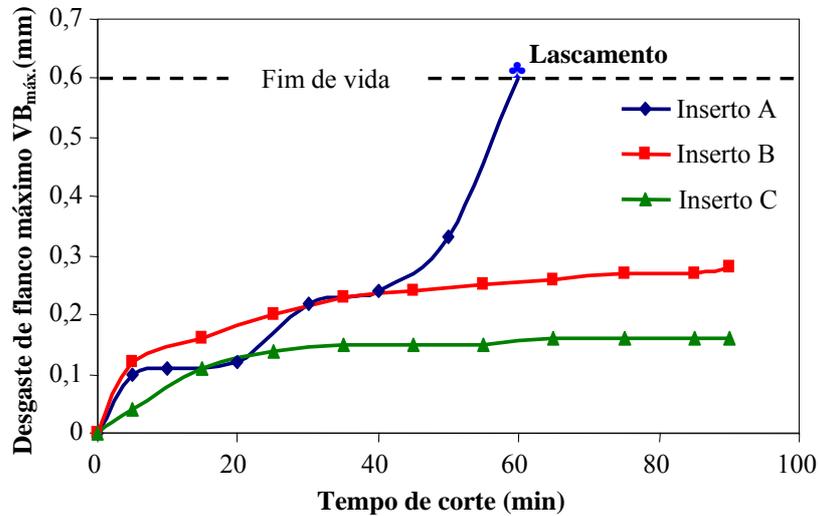


Figura 4. Gráfico do comportamento do desgaste de flanco máximo.

Observando-se o gráfico, verifica-se que o inserto A apresenta um comportamento diferenciado em relação aos insertos B e C. A curva referente ao inserto A intercala períodos de aumento elevado do desgaste com períodos de desgaste reduzido, enquanto que as curvas referentes aos insertos B e C apresentam um desgaste mais acentuado no início da vida da ferramenta, seguido por um desgaste reduzido e gradual, até atingirem o critério de fim de teste. Uma vez que para todos os insertos avaliados foram utilizadas as mesmas condições de usinagem, as variações apresentadas pelas curvas de vida de cada ferramenta são devidas às características individuais de cada inserto ensaiado. Os três insertos apresentam geometrias diferentes entre si, e o inserto A é constituído de uma classe de metal-duro diferente da empregada nos insertos B e C.

O inserto A apresenta um ângulo de saída (γ) nulo, que o caracteriza como uma ferramenta robusta, adequada ao processo de desbaste. Porém, sua aplicação na usinagem do aço ABNT 1045 não apresentou bons resultados. Nos ensaios realizados, um dos aspectos observados com o uso do inserto A foi o arrancamento de porções do gume de corte, como pode ser observado na Fig. (5), que apresenta imagens de face e flanco dos insertos em estado de fim de vida. Esse fato se deve a um desgaste abrupto ocorrido nas ferramentas, devido à fragilização do gume provocada pelo rebaixo da face. O desgaste progressivo na face reduziu a resistência estrutural do gume de corte, provocando a remoção abrupta de porções significativas do gume.

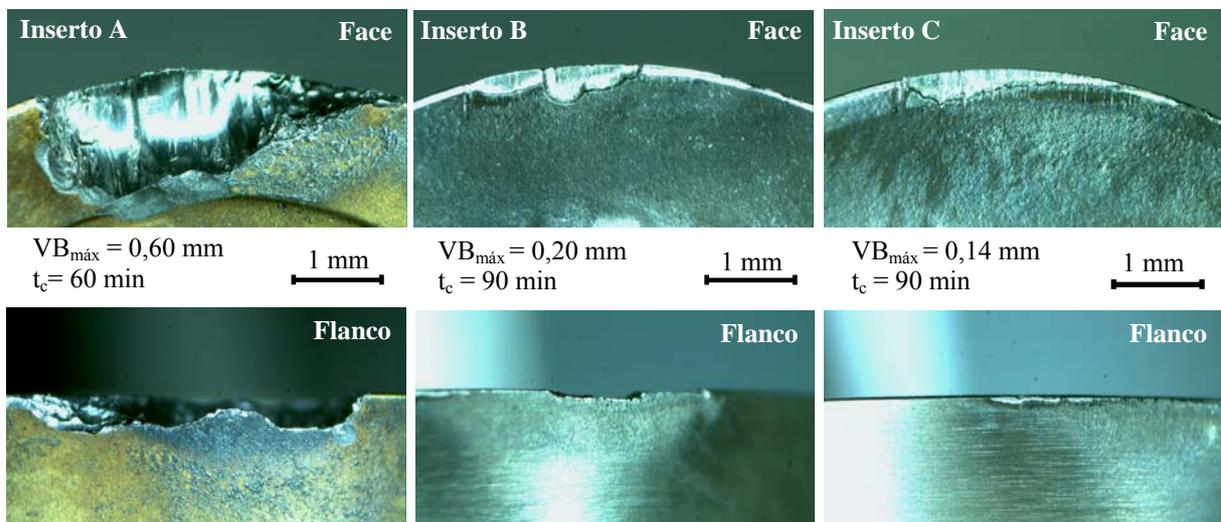


Figura 5. Imagens de face e flanco dos insertos em estado de fim de vida.

A ocorrência do desgaste prematuro da face e a consequentemente fragilização do gume da ferramenta A devem-se às características do material usinado e da ferramenta de corte. O aço 1045 caracteriza-se por ser um material relativamente tenaz no estado normalizado e de elevada usinabilidade quanto ao critério de formação de cavaco nos processos de corte interrompido. Apresenta também uma boa resistência mecânica e elevada abrasividade, decorrentes da presença de perlita em sua microestrutura, a qual é rica em carbonetos de ferro de elevada dureza. Por isso, é imprescindível para a usinagem deste aço que a ferramenta apresente um ângulo de saída positivo, de forma a facilitar o escoamento do cavaco, e assim minimizar os efeitos térmicos e mecânicos provenientes do elevado atrito do mesmo com a face da ferramenta.

Além disso, a classe de metal-duro constituinte dos inserts do tipo A apresenta menor tenacidade que a classe dos inserts B e C. Sendo o processo de desgaste caracterizado por elevadas solicitações térmicas e mecânicas, uma classe com menor tenacidade pode ocasionar a formação de lascamentos, visto que uma ferramenta com menor tenacidade apresenta uma dureza mais elevada, podendo fragilizar a mesma. Quanto menor o grão do material da ferramenta, maiores as resistências ao desgaste abrasivo, à compressão e ao cisalhamento, além da melhora da tenacidade do gume da ferramenta. Consequentemente, maior será a resistência ao lascamento e ao desgaste por difusão (Oliveira, 2007). Desta forma, os inserts B e C, além de terem geometria positiva, com ângulos de saída do cavaco de 16° e 15° , respectivamente, são também constituídos com uma classe de metal-duro mais tenaz se comparado ao apresentado pelo inserto A, o que explica a maior durabilidade apresentada pelos mesmos.

Observa-se também nas imagens da Fig. (5) que o inserto B apresentou, além do desgaste de flanco, microlascamentos, enquanto que no inserto C não foi observada a ocorrência deste tipo de desgaste. Os resultados apresentados estão relacionados às geometrias das ferramentas, mais especificamente na geometria dos chanfros presentes nos gumes. O inserto B possui um pequeno chanfro com comprimento de 0,1 mm, disposto em um ângulo negativo de 15° , fazendo com que o gume torne-se fragilizado, proporcionando desta forma o surgimento de microlascamentos. Já o chanfro presente no inserto C proporcionou uma maior robustez à ferramenta, uma vez que seu comprimento é de 0,2 mm, disposto em um ângulo nulo, o qual não afetou o escoamento do cavaco devido ao fato de a profundidade de corte ser 0,8 mm maior que seu comprimento.

Com o objetivo de complementar a análise dos comportamentos de desgaste verificados, a Fig. (6) apresenta imagens do flanco das ferramentas analisadas em diferentes tempos de usinagem ao longo dos testes.

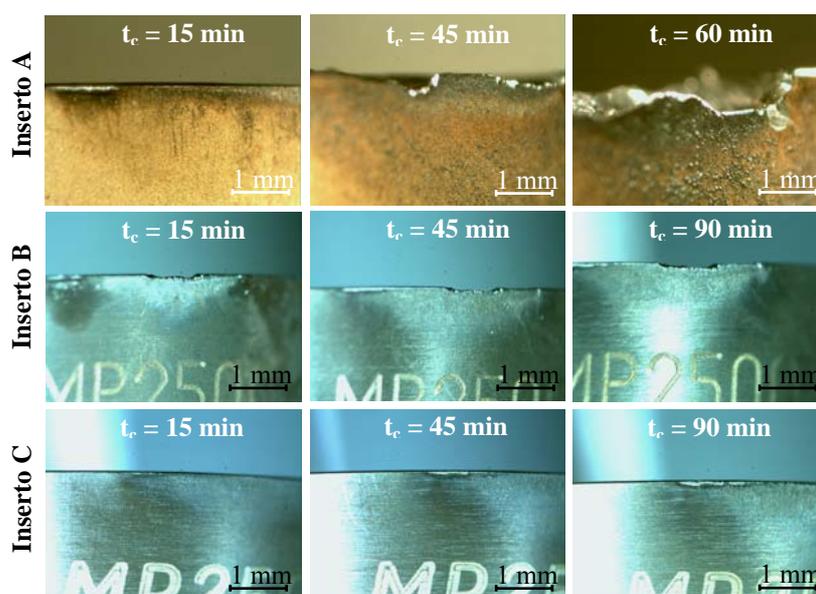


Figura 6. Imagens de flanco dos inserts ao longo do processo.

Através da análise das imagens, observa-se que o inserto A, após 15 min de operação não apresenta desgaste significativo, enquanto que após 45 min já é observada a ocorrência de microlascamentos. Esse comportamento reforça a análise de que o desgaste abrasivo do flanco foi pouco significativo, sendo o desgaste da ferramenta determinado pelo rebaixo da face, o que fragilizou o gume e ocasionou a formação dos lascamentos. Verifica-se também que as ferramentas B e C apresentaram um desgaste bastante inferior ao apresentado pela ferramenta A, devido à classe de metal-duro constituinte dos inserts B e C, que apresenta maior tenacidade que o empregado na ferramenta do tipo A.

4. CONCLUSÃO

A primeira ferramenta ensaiada (inserto A) obteve até o seu fim de vida um volume usinado de 1200 cm^3 , em 60 min de trabalho. Os inserts B e C não atingiram o fim de vida, apresentando um $VB_{\text{máx}}$ de 0,20 e 0,14 mm, respectivamente. Ambos registraram em 90 min o volume usinado estipulado para o fim do ensaio de 2160 cm^3 .

O inserto A apresenta um $\gamma = 0^\circ$, que o caracteriza como uma ferramenta robusta, adequada ao processo de desbaste. Porém, os resultados obtidos para esta ferramenta apresentaram valores inferiores de volume usinado, com desgaste prematuro devido à formação de lascamentos. Outro elemento observado com o uso do inserto A foi o arrancamento de porções do gume de corte, devido à fragilização do mesmo provocada pelo rebaixo da face. O desgaste progressivo na face reduziu a resistência estrutural do gume de corte, provocando a remoção abrupta de porções significativas do gume. Tais resultados são devidos ao ângulo de saída nulo da ferramenta, e à sua classe de metal-duro.

Devido às características do aço ABNT 1045, é imprescindível para a usinagem deste aço que a ferramenta apresente um ângulo de saída positivo, de forma a facilitar o escoamento do cavaco, e assim minimizar os efeitos térmicos e mecânicos provenientes do elevado atrito do mesmo com a face da ferramenta. Os insertos B e C, além de terem geometria positiva, com ângulos de saída do cavaco de 16° e 15° , respectivamente, são também constituídos com uma classe de metal-duro mais tenaz se comparado ao apresentado pelo inserto A, o que explica a maior durabilidade apresentada pelos mesmos.

Os insertos B e C apresentaram diferenças quanto à ocorrência de microlascamentos, devido à geometria dos chanfros presentes nos gumes. O inserto B possui um pequeno chanfro com comprimento de 0,1 mm, disposto em um ângulo negativo de 15° , que fragilizou o gume e provocou o surgimento de microlascamentos. Já o chanfro presente no inserto C proporcionou uma maior robustez à ferramenta, uma vez que seu comprimento é de 0,2 mm, disposto em um ângulo nulo, o qual não afetou o escoamento do cavaco devido ao fato de a profundidade de corte ser 0,8 mm maior que seu comprimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Universidade de Caxias do Sul (UCS), pela colaboração dada ao projeto *Dry Drilling* do Grupo de Usinagem (GUS), e às empresas colaboradoras do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- Atkins, T., 2009, "Toughness and processes of material removal", *Wear*, Vol. 267, pp. 1764-1771.
- Fang, N. and Wu, Q., 2005, "The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 45, pp. 1178-1187.
- Habeeb, H. H., Abou-El-Hossein, K. A., Mohammad, B. and Kadirgama, K., 2008, "Effect of tool holder geometry and cutting condition when milling nickel-based alloy 242", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 201, pp. 483-485.
- Hogmark, S., Jacobson, S. and Larson, M., 2000, "Design and Evaluation in Tribological Coatings", *Wear*, Vol. 246, pp. 20-33.
- Jianxin, D., Jianhua, L., Jinlong, Z. and Wenlong, S., 2008, "Wear mechanisms of PVD ZrN coated tools in machining", *Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 26, pp. 164-172.
- König, W. and Klocke, F., 2002, "Fertigungsverfahren - Drehen, Fräsen, Bohren", 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- Lim, S.C. and Lim, C.Y.H., 2001, "Effective use of coated tools - the wear-map approach", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 139, pp. 127-134.
- Oliveira, A.J. de, 2007, "Análise do desgaste de ferramentas no fresamento com alta velocidade de aços endurecidos", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Saglam, H., Yaldiz, S. and Unsacar, F., 2007, "The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature", *Materials and Design*, Vol. 28, pp. 101-111.
- Stemmer, C., 2005, "Ferramentas de corte", 6ª ed., Ed. da UFSC, Florianópolis.
- Teixeira, C.R., 2001, "Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Xiao, M., Wang, Q.M., Sato, K., Karube, S., Soutome, T. and Xu, H., 2006, "The effect of tool geometry on regenerative instability in ultrasonic vibration cutting", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 492-499.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

ANALYSIS OF WEAR IN THE ROUGHING OF ABNT 1045 STEEL

Rodrigo Panosso Zeilmann, rpeilma@ucs.br¹

Gerson L Nicola, glnicola@ucs.br¹

Alfredo Tomé, aftome@hotmail.com¹

Matheus Vidor, mvidor@ucs.br¹

Fernando Bordin, fernbordin@hotmail.com¹

¹Center of Exact Sciences and Technology, University of Caxias do Sul , Francisco Getúlio Vargas Street, 1130. Caxias do Sul – RS – 95001-970

Abstract: The milling operation is one of the most important in manufacturing processes. The technological advance of the machine tool allow the machining with higher cutting speeds, which lead to higher mechanical and thermal requests, greatly influencing the end of tool life. The prevision of the useful life of the tool is of great importance to the process planning. Appropiates geometry and right definition of the cutting parameters are fundamental aspects. The wear resulting of the process is due to the interaction of the tool and workpiece, depending of the machining conditions. One of the ways to increase the wear resistance is the use of coating, which improve the mechanical properties of cutting tool's surface such as hardness, chemical and thermal stability, reduction of friction coefficient, among others. In this context, this study aims to evaluate the wear and the tool life by analyzing its geometry, class and coating in the machining of the ABNT 1045 steel. It was observed the end of tool life, in addition of the best machining conditions.

Keywords: Machining, Cutting Parameters, Mechanisms and Types of Wear, Tool Selection.