

INFLUÊNCIA DA FERRAMENTA DE CORTE NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE TORNEAMENTO

Rodolfo da Silva Manera

rodolfoman@aluno.feis.unesp.br
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS
Departamento de Engenharia Mecânica - DEM
Av. Brasil Centro, 56
15.385-000
Ilha Solteira-SP

Thiago Bassan Setala

tbsetala@aluno.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@dem.feis.unesp.br

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo da influência da ferramenta de corte na otimização de processos de torneamento. Na indústria de transformação com remoção de material, conhecer o que o mercado oferece de inovação para aumentar a rentabilidade do seu processo motiva as contínuas pesquisas e reavaliações para tornar a relação custo/benefício uma meta a ser alcançada. Neste trabalho apresenta-se o resultado positivo de como certas variáveis presentes nas ferramentas de corte, tais como a classe, a geometria, o revestimento e o tipo de quebra-cavaco otimizam o processo de usinagem no torneamento.*

Palavras-chave: *torneamento CNC, ferramentas de corte e produtividade.*

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a indústria da transformação ou engenharia de manufatura tem sido fortemente desafiada no sentido de atender à crescente demanda da produção, buscando, entre os processos produtivos, variáveis capazes de promover a diluição dos custos. O aumento da produção na usinagem é por vezes aprimorado através de um diagnóstico efetivo e detalhado sobre os índices de produtividade da empresa. Análises do desempenho das ferramentas, tipos de operações e parâmetros de processo são dados imprescindíveis para tomadas de decisão visando não somente o aumento da produtividade, mas também da redução dos custos de fabricação.

A produtividade no ramo metal-mecânico é um termo muito complexo e é difícil pontuar apenas um item na cadeia de produção que irá maximizar a relação do que entra e do que sai no processo de manufatura. Em se tratando de usinagem, há algumas regras a respeito dos efeitos sobre a sua produtividade e a redução do custo total por peça *versus* parâmetros de corte, sendo estes um fator determinante na vida útil da ferramenta (Diniz et al., 2000).

Na busca de um processo mais rentável, encontrar um ponto de viabilidade e equilíbrio entre a máxima velocidade, o máximo avanço e a máxima profundidade de corte - que seja condizente com a potência da máquina, com a resistência ao desgaste da ferramenta e com as características de usinabilidade do material - é de vital necessidade.

Uma ferramenta de corte deve aliar algumas características relevantes, tais como alta dureza em elevadas temperaturas, alta resistência mecânica e ao desgaste, alta tenacidade, alta resistência ao

choque térmico, à compressão e elevada estabilidade química (Matsumoto e Diniz, 2000). A maioria dos materiais atualmente utilizados pela indústria combina alguns, mas nem sempre todos, os requisitos citados.

Para sanar essa deficiência, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas ferramentas de corte, revelaram à indústria uma grande leva de soluções. Novos materiais para ferramenta e novas geometrias da aresta de corte propiciam inúmeras particularidades que podem maximizar os resultados.

O surgimento de novas ferramentas de corte, sobretudo nas últimas duas décadas, decorreu do desenvolvimento tecnológico da usinagem e da necessidade de se usinar novos materiais (Rosa e Diniz, 1999). Basicamente, existem atualmente no mercado ferramentas compostas de aço rápido, carboneto metálico (metal duro), com ou sem revestimentos, cermet (um misto de cerâmica e metal), cerâmica convencional, que pode ser reforçada com fibras de silício, CBN (nitreto de boro cúbico) e diamante policristalino.

De acordo com Christoffel (2001), há ainda aprimoramentos alcançáveis tecnologicamente hoje em dia. Alterando os substratos das ferramentas e diminuindo o tamanho médio de grão para ordens nanométricas, é possível elevar significativamente a dureza e a resistência mecânica da ferramenta de corte.

Com o advento do “metal duro”, obtido pelo processo da metalurgia do pó, que é constituído de partículas duras finamente divididas de carbonetos de metais refratários, sinterizados com um ou mais metais do grupo do ferro (ferro, níquel ou cobalto) formam um corpo de alta dureza e resistência à compressão. Provêm de uma liga de um metal aglomerante – na maioria das vezes o cobalto – com partículas duras de carbonetos de tungstênio. Usualmente podem ser combinados com outros carbonetos, como, por exemplo, os carbonetos de titânio, tântalo e nióbio. Com isso, houve um grande avanço no que se diz respeito a maior rentabilidade e resistência ao desgaste.

Nessa linha de evolução para ferramentas mais resistentes ao desgaste, os materiais caracterizados de “cermets” correspondem a uma liga de fase cerâmica com uma fase metálica (Ferraresi, 1970). Compartilha, assim como o metal duro, do uso de um material aglomerante – geralmente o níquel nesse caso – ligadas com partículas de, na sua maioria, TiC, TiN e/ou Ti(C,N). Apresenta grande estabilidade química e uma alta dureza a elevadas temperaturas, com pouca tendência à difusão (processo de desgaste onde há uma transferência de átomos da ferramenta à peça usinada e vice-versa).

Além dos substratos, os tipos e processos de revestimento também acompanharam essa evolução das ferramentas de corte. As propriedades das ferramentas de corte podem ser melhoradas com a introdução de uma ou mais camadas em sua superfície. Os revestimentos, que em geral são camadas finas e duras de 1 a 4 µm, proporcionam às ferramentas elevada dureza, baixo coeficiente de atrito e estabilidade química. Segundo Ruppí e Halvarsson (1999), os processos de deposição de coberturas em ferramentas de corte podem ser divididos em dois grupos: CVD (Chemical Vapour Deposition) e PVD (Physical Vapour Deposition).

De acordo com Grzesik (2003), atualmente mais de 50% das ferramentas de metal duro são revestidas pelo processo PVD ou CVD. A principal característica do processo CVD é a alta temperatura no substrato necessária para a deposição da cobertura. As temperaturas no processo PVD são menores e, praticamente não influenciam nas características do material que está sendo revestido, ao contrário do que ocorre no caso de revestimento CVD.

O processo PVD transcorre sob vácuo, sendo a atmosfera gerada à base de átomos metálicos e de gases reativos, ambos ionizados denominado de plasma. Os átomos do material evaporado e ionizado são acelerados em direção do substrato submetido a um potencial negativo.

Três camadas aplicadas pelo processo PVD têm se destacado no revestimento de ferramentas de corte, são elas: TiN, TiCN e TiAlN. Estas camadas são caracterizadas por uma alta dureza, excelente aderência, baixa porosidade, altas estabilidades química e térmica, entre outras características. Na Tabela 1 encontram-se relacionadas algumas das propriedades destas camadas.

Tabela 1: Propriedades dos revestimentos (Schulz et al., 2000; Yuhara, 2000)

Camada	TiN	TiCN	TiAlN
Espessura [μm]	1 a 5	1 a 5	1 a 5
Dureza [HV 0,05]	2100 a 2500	2700 a 3200	2600 a 3000
Coefficiente de atrito	0,4	0,25 a 0,4	0,3 a 0,4
Coefficiente de Atrito contra aço	0,65	0,50	0,60
Resistência máxima a oxidação [$^{\circ}\text{C}$]	450	350	700
Estabilidade térmica [$^{\circ}\text{C}$]	550	450	800
Aderência * [N]	60	50	50
Coefficiente de Transmissão de calor [W/mK]	29	29	-
Cor	Dourado	Lilás	Cinza/preto

* Medida indiretamente através da determinação da carga crítica no ensaio de riscamento, utilizando aço rápido temperado como substrato.

A pequena espessura dos revestimentos proporciona um elevado grau de elasticidade, necessário para absorver impactos e altas tensões na aresta de corte. Ao mesmo tempo, essas camadas duras influenciam positivamente no fluxo e na forma do cavaco, na temperatura na aresta de corte e na otimização da faixa de trabalho. Segundo Machado e Da Silva (1999), a melhor performance das ferramentas de corte revestidas resulta em vantagens como:

- Redução do atrito entre peça e ferramenta, menor geração de calor e minimização de desgastes;
- Redução de custos com ferramentas, em razão de uma vida útil maior;
- Redução de custos com tempos não produtivos, com menor troca de ferramenta;
- Aumento da produtividade por permitir trabalhar com velocidades maiores em razão de menor atrito, o que reduz também o consumo de potência da máquina e;
- Melhoria na qualidade da peça na forma de um melhor acabamento superficial e outros efeitos, tais como melhor precisão dimensional durante o corte.

Segundo Rodrigues (2005), a geometria da ferramenta de corte também representa uma variável de extrema relevância na fenomenologia da usinagem, uma vez que pequenas alterações dimensionais e angulares causam respostas distintas quanto ao comportamento do material da peça sobre a aresta de corte da ferramenta. Ângulos de saída mais positivos ou geometrias de quebra-cavaco mais suaves favorecem o processo de remoção de cavaco.

Quase sempre, a simples mudança de parâmetros de corte e a escolha de ferramentas atuais mais apropriadas a uma dada operação permite alcançar patamares de produtividade associados à redução no custo em ordens inesperadas. Este trabalho objetivou avaliar e justificar o real impacto do revestimento e da geometria de quebra-cavaco na produtividade em operações de torneamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram realizados em um torno CNC ERGOMAT, modelo TND-250, com potência de 34 CV, velocidade de avanço máxima de 30 m/min e rotação do eixo-árvore de até 5000 rpm. Um total de 6 (seis) tipos de ferramentas foi testado com o intuito de verificar a produtividade e o próprio desempenho dos insertos. Quatro delas, apresentadas na Figura 1, foram aplicadas no estudo da influência do quebra-cavaco e do revestimento, e as outras duas (de código TCMT 110208 TM) somente para análise do efeito do revestimento, de Ti(C,N) e TiN. Torna-se relevante frisar que as

geometrias dessas duas pastilhas não foram apresentadas neste trabalho justamente por ser a cobertura a única variável de estudo.

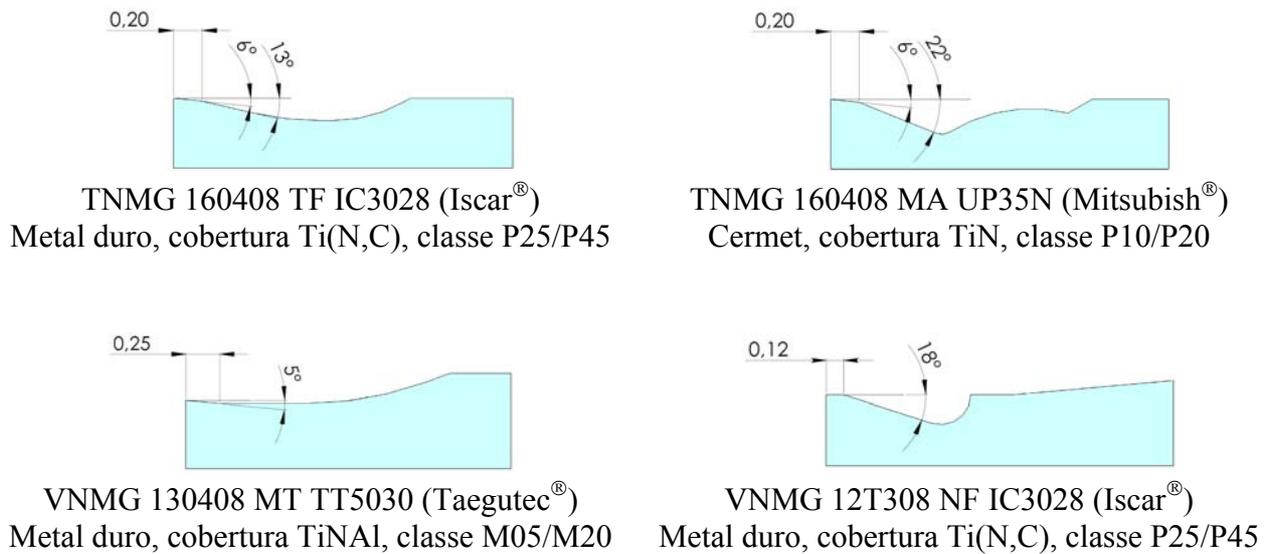


Figura 1: Geometria dos quebra-cavacos utilizados no processo de usinagem.

Os materiais e os formatos das peças são apresentados na Figura 2 abaixo. Vale lembrar que dimensões e especificações mais pormenorizadas dos materiais das peças não puderam ser divulgadas neste artigo em função deste trabalho ser classificado como “Estudo de Caso”, proveniente de um ambiente industrial real do ramo metal-mecânico.

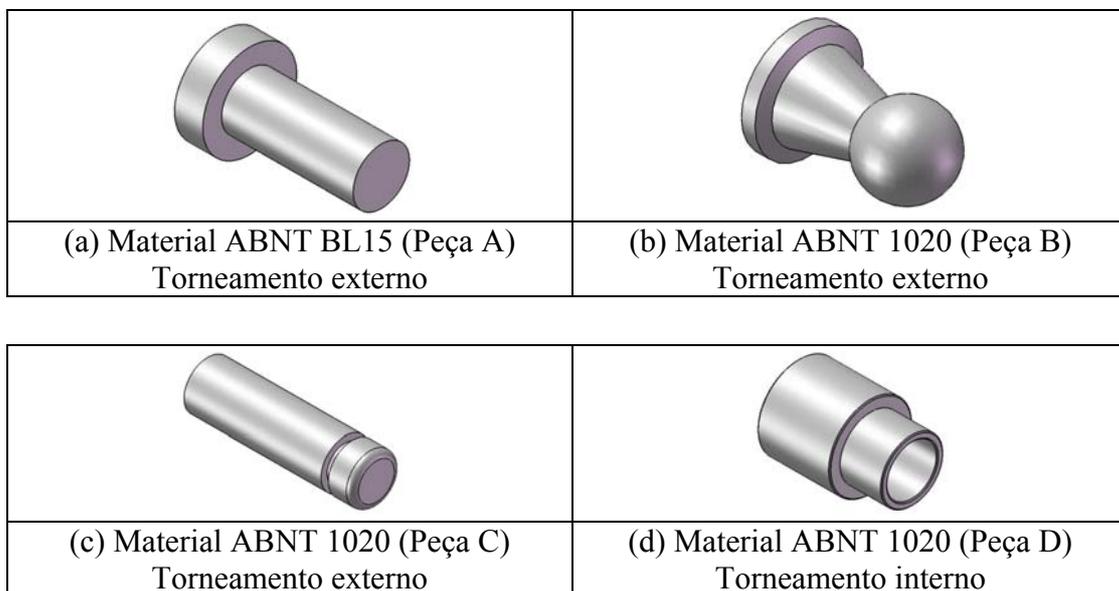


Figura 2: Peças submetidas às análises de produtividade.

Os parâmetros de corte adotados nos experimentos e especificados de acordo com o fornecedor de cada ferramenta são apresentados na Tabela 2. Cumpre-se destacar que os parâmetros de corte foram mantidos constantes de tal modo que se pudesse avaliar isoladamente a influência da ferramenta de corte na produtividade das peças.

Tabela 2: Parâmetros de corte adotados nos testes de usinagem.

Parâmetros de corte	Unidade	Peça A	Peça B	Peça C	Peça D
Velocidade de Corte (v_c)	[m/min]	70	90	120	110
Profundidade de Usinagem (a_p)	[mm]	1,0	1,5	1,5	0,25
Avanço (f)	[mm/rot]	0,27	0,25	0,22	0,27

A produtividade foi medida considerando o número de peças produzidas por aresta dos insertos testados. Os critérios para a determinação do índice de produtividade ou desempenho da aresta de corte foram a qualidade dimensional, o acabamento superficial das peças e a ocorrência de desgaste nas próprias pastilhas. Ao monitorar essas três variáveis e constatar qualquer grau de alteração, os testes foram interrompidos e o número de peças produzidas foi devidamente anotado. As análises dos desgastes foram realizadas utilizando o microscópio Carl Zeiss JENA, modelo Neophot 21, com ampliação máxima de 2000 vezes.

Na usinagem com remoção de cavaco, podemos encontrar, nas ferramentas de corte, diversos tipos de avarias. As particularidades dessas avarias variam de acordo com o processo e com as condições de usinagem ao qual elas foram submetidas. Dentre os diversos tipos de desgaste, os mais comuns são o desgaste de cratera, desgaste de flanco, aresta postiça de corte, lascamento, sendo que estes podem levar até a uma possível quebra da ferramenta. Evidenciaremos cada tipo de avaria sofrida pela ferramenta na usinagem dos respectivos materiais e processos a seguir nos resultados desse estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados decorrentes deste estudo de caso são sumarizados a seguir. A Figura 3 ilustra na forma de gráficos de barras o aumento da produtividade das peças A, B, C e D.

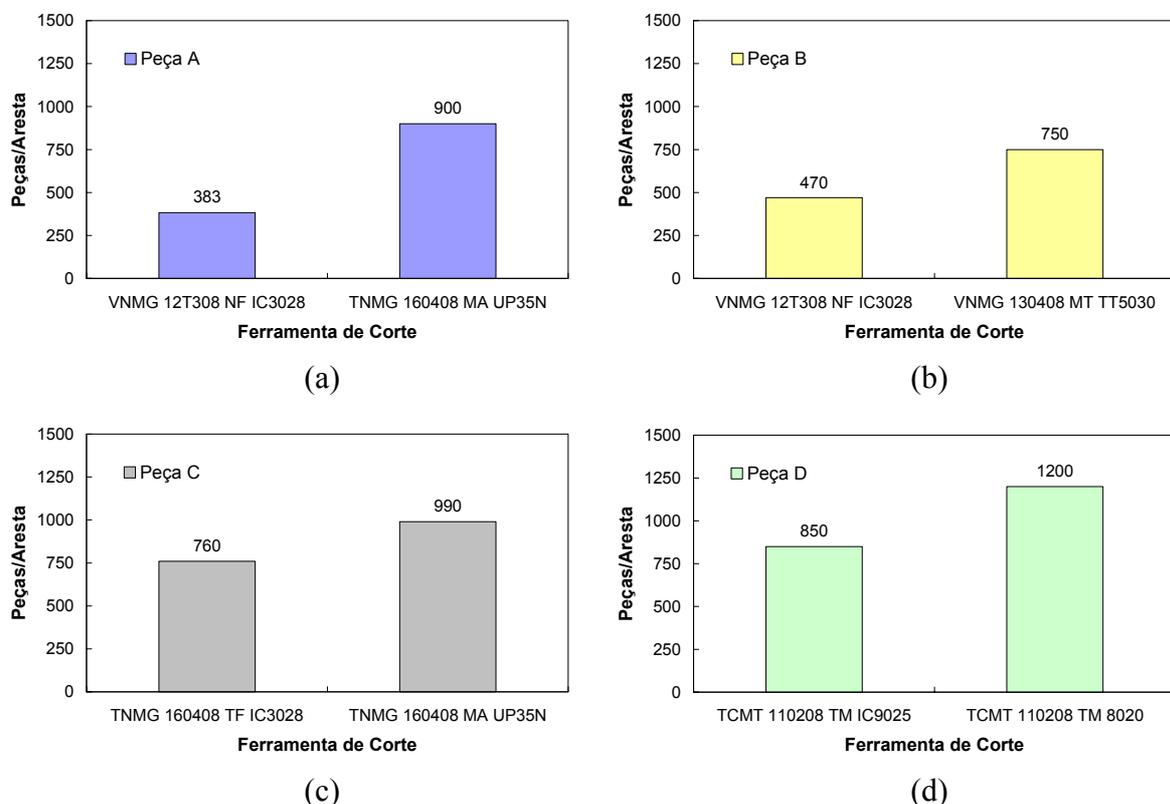


Figura 3: Índices de produtividade obtidos com as ferramentas consideradas no estudo.

A Figura 3a mostra um significativo aumento na produção da Peça A ao substituir a ferramenta de metal duro VNMG 12T308 NF IC3028 pelo inserto de cermet TNMG 160408 MA UP35N. O aumento da produtividade em torno de 135% pode ter ocorrido em decorrência de modificações na geometria da aresta de corte, bem como no tipo de revestimento. O inserto de cermet, além de ser mais resistente ao desgaste, por possuir dupla camada de TiN e TiNAl como cobertura, apresenta aresta mais robusta e um quebra-cavaco mais suave, como pode ser visto na Figura 1. Apesar do custo unitário da ferramenta de cermet ser maior que o do metal duro, o custo/benefício ferramental foi maior em 53% aproximadamente.

O aumento da produtividade verificado na Figura 3b para a Peça B foi de aproximadamente 60%, gerando assim um custo/benefício ferramental acrescido de 28%. Neste caso, ao substituir a pastilha VNMG 12T308 NF IC3028 pela VNMG 130408 MT TT5030, foi conferido ao processo maior rendimento em virtude do revestimento de TiNAl e do tipo de substrato da ferramenta, sendo composto por sub micro grãos. Esta granulometria do substrato confere ao inserto maior resistência ao microlascamento provocado por variações térmicas. Além disso, a aresta mais robusta e menos arredondada proporciona um corte mais suave e menor concentração de calor.

Os cerca de 30% de aumento da quantidade de peças por aresta para a Peça C, apresentados na Figura 3c, provavelmente foram alcançados devido à maior resistência ao calor do cermet TNMG 160408 MA UP35N em relação ao da ferramenta TNMG 160408 TF IC3028. Neste caso, além de possuir melhor resistência ao desgaste e ao choque térmico proporcionados pelo revestimento duplo TiN e TiNAl, a geometria do quebra-cavaco favoreceu um corte mais leve, mesmo apresentando as mesmas medidas do chanfro da aresta da ferramenta TNMG 160408 TF IC 3028 (0,20 x 6°). Novamente, de forma análoga ao caso da Peça A, apesar do custo unitário da pastilha de cermet ser maior que o do metal duro, foi possível aumentar o custo/benefício ferramental em torno de 47%.

Finalmente, na Peça D foi possível maximizar a produtividade em cerca de 41% e aprimorar a relação custo/benefício ferramental em 27%. A estratégia foi apenas trocar a classe da pastilha TCMT 110208 TM de IC9025 para 8020. A substituição da cobertura de TiN(N,C) por TiN apresentou melhoria provavelmente devido à maior resistência à oxidação e estabilidade química, já que a geometria da aresta de corte e do quebra-cavaco se mantiveram inalteradas.

A seguir são mostradas imagens dos insertos utilizados nos processos de usinagem visando identificar os tipos mais comuns de desgaste ocorridos ao longo do estudo. Os principais tipos de desgaste encontrados foram de cratera, de flanco, lascamento e aresta postiça de corte (APC).

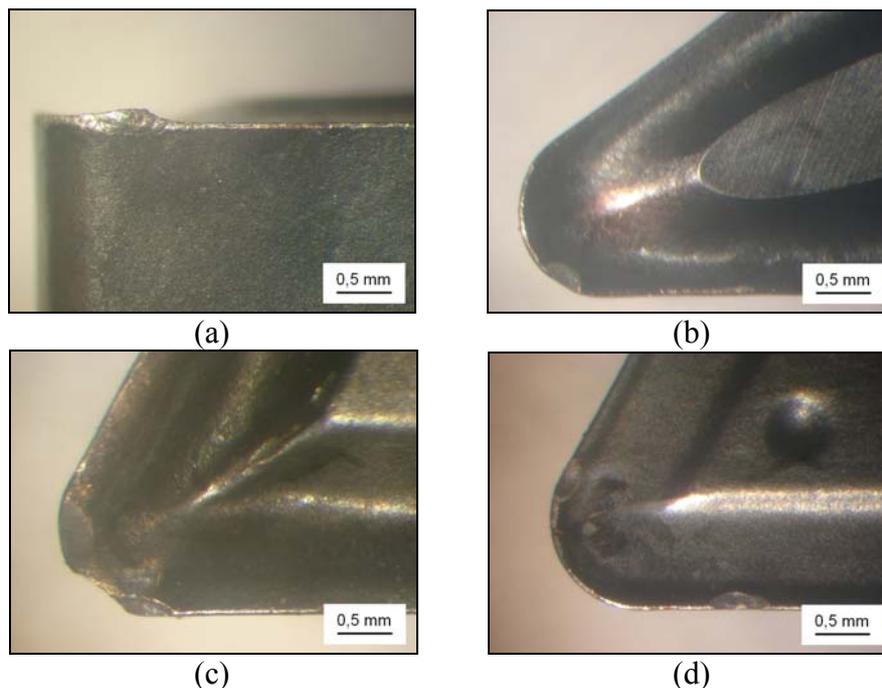


Figura 4: Tipos de desgaste verificados nos processos de usinagem.

A Figura 4a mostra uma vista da superfície de folga principal da ferramenta VNMG 12T308 NF IC3028, onde é possível identificar o início de desgaste de flanco e um acúmulo do material da peça usinada na superfície de saída, bem como na aresta principal de corte. Este fato caracteriza a ocorrência típica de APC, uma vez que foi empregado um baixo valor de velocidade de corte (70 m/min) associado à usinagem de um material dúctil, tal como o aço estrutural ABNT BL15, sendo este o material da Peça A. Muito provavelmente, a APC foi a principal causadora da baixa produtividade na usinagem da Peça A e, por este motivo, a ferramenta foi substituída pela pastilha de cermet TNMG 160408 MA UP35N. O fenômeno da APC é uma condição da interface cavaco-ferramenta onde o cavaco adere a superfície de saída da ferramenta, modificando o comportamento desta em relação a força de corte, acabamento superficial da peça e desgaste da ferramenta. Com tendência a crescer gradualmente, pode levar ao rompimento da aresta, que gera um desgaste de flanco muito grande e diferente daquele encontrado na usinagem sem APC, o que afeta diretamente na durabilidade da pastilha. O desgaste de flanco na ocorrência da APC deixa de estar aproximadamente paralela à direção de corte e, agora se apresenta inclinado em relação à direção de corte. O desgaste de cratera na usinagem da Peça A fica minimizado com a APC, visto que a superfície de saída da ferramenta é protegida, já que o cavaco não atrita com a mesma.

A ferramenta VNMG 12T308 NF IC3028, ao usinar a Peça B, gerou mais preponderantemente o desgaste por lascamento, como pode ser visto na Figura 4b. Estima-se que este tipo de desgaste foi causado pelo aumento da velocidade de corte (cerca de 30%) em relação à Peça A, associado ao aumento da profundidade de usinagem de 50% e à trajetória da ferramenta, uma vez que a Peça B possui ponta esférica e cone entre dois diâmetros maiores, havendo corte interrompido, com entrada em mergulho e saída com impacto.

A Figura 4c apresenta o inserto TNMG 160408 TF IC3028 empregado na usinagem da Peça C. Neste caso, verificou-se com maior frequência a presença de desgaste de cratera, possivelmente causado pela elevada velocidade de corte (120 m/min). Além disso, em alguns casos, como o do mostrado na Figura 4c, houve lascamento e quebra da aresta principal de corte, decorrente do desgaste de cratera pré-existente, associado à brusca entrada da ferramenta na peça com elevada profundidade de usinagem.

Por fim, ocorrências de lascamento também foram observadas no torneamento interno da Peça D com a ferramenta TCMT 110208 TM IC9025. De forma análoga ao caso anterior, a provável justificativa para este tipo de falha na pastilha refere-se ao alto valor da velocidade de corte (110 m/min) empregado na usinagem. Ademais, a operação de torneamento interno traz consigo certas complicações, tais como acúmulo de cavaco no furo e maior vibração da ferramenta, causada pela menor rigidez do suporte.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, seqüência-se abaixo as seguintes conclusões:

- A ferramenta de cermet TNMG 160408 MA UP35N, devido ao tipo substrato, revestimento e quebra-cavaco, promoveu um aumento significativo na produtividade das peças A e C, representando uma melhoria no custo/benefício ferramental de 53 e 47%, respectivamente;
- O efeito da cobertura de TiAl na pastilha VNMG 130408 MT TT5030, associado ao quebra-cavaco mais robusto, gerou um custo/benefício ferramental de 28% ao usinar a Peça B;
- A substituição do revestimento da ferramenta TCMT 110208 TM, de Ti(C,N) para TiN, significou um aumento do custo/benefício ferramental em torno de 27% no processo de fabricação da peça D;
- Os tipos de desgaste encontrados neste trabalho foram condizentes com os apresentados na literatura técnica. APC foi gerada na usinagem de material dúctil a baixa velocidade de

corde. Lascamento, desgaste de cratera e fratura foram encontrados em processos com cortes bruscos, sujeitos à elevada velocidade de corte e vibração.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Departamento de Engenharia Mecânica da FEIS/UNESP pelo amparo financeiro e técnico da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E. Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2000, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, Art Liber Editora, Brasil, 248 p.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Edgard Blücher Ltda, Brasil, 754 p.
- Machado, Á.R. and Da Silva, M.B., 1999, “Usinagem dos Metais”, Editora da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 224 p.
- Matsumoto, H. and Diniz, A.E., 2000, “Torneamento de Aços Endurecidos utilizando Ferramentas Cerâmicas”, In: 1° Congresso Nacional de Engenharia Mecânica-CONEM, Natal-RN.
- Rosa, A.B. and Diniz, A.E., 1999, “Influência das Condições de Usinagem na Rugosidade de Peças de Aço Fresadas com Fresas de Topo de Metal Duro e Coronite”, In: 15° Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica-COBEM, Águas de Lindóia-SP, ABCM.
- Christoffel, K., 2001, “High-speed Machining - From a Tool Manufacturer’s Perspective”, In: 6° Seminário Internacional De Alta Tecnologia-Manufatura Avançada, Piracicaba-SP, UNIMEP.
- Grzesik, W., 2003, “Friction Behaviour of Heat Isolating Coatings in Machining: Mechanical Thermal, and Energy-Based Considerations”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 43, pp 145-150.
- Ruppi, S. and Halvarsson, M., 1999, “The Investigation of Wear Mechanisms during Metal Machining”, Thin Solid Films, Vol. 353, pp 182-188.
- Schulz, H., Emrich, A.K., Finzer, T., Dörr, J., 2000, “Quais são e para que Servem os Revestimentos”, Máquina e Metais, n. 416, pp 35-38.
- Yuhara, D. A., Aplicação de revestimentos PVD em ferramentas de corte. In: USINAGEM 2000 FEIRA E CONGRESSO, 1., 2000, São Paulo-SP. Anais... São Paulo-SP, Aranda Eventos. 13p.
- Rodrigues, A.R., 2005, “Estudo da Geometria de Arestas de Corte Aplicadas em Usinagem com Altas Velocidades de Corte”, São Carlos, 227 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

INFLUENCE OF CUTTING TOOLS ON TURNING PROCESSES OPTIMIZATION

Rodolfo da Silva Manera

rodolfoman@aluno.feis.unesp.br
São Paulo State University - UNESP
Engineering Faculty of Ilha Solteira - FEIS
Mechanical Engineering Department - DEM
Av. Brasil Centro, 56
15.385-000
Ilha Solteira-SP

Thiago Bassan Setala

tbsetala@aluno.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@dem.feis.unesp.br

***Abstract:** This work shows a study about the influence of cutting tools on turning processes optimization. In manufacturing industry, it is important to know what the market offers in innovation in order to increase the profitability of your process as well as to motivate to the continuous researches and revaluations to become the cost/benefit relation a goal to be reached. This work shows the positive result of how certain variables contained on cutting tools, such as the class, the geometry, the coating and the kind of chip-breaker optimize the cutting on turning processes.*

***Keywords:** CN turning, cutting tools and productivity.*