

Estudo da confiabilidade da ferramenta de corte no processo de torneamento

Henrique Ajuz Holzmann (UTFPR) drerique@hotmail.com
Aldo Braghini Junior (UTFPR) aldo@utfpr.edu.br
João Luis Kovaleski (UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Resumo:

Para a determinação do fim da vida da ferramenta de corte existem diversos critérios, sendo o mais eficiente e confiável a medição do desgaste de flanco. Apesar da confiabilidade deste método, o mesmo não é prático para ser implementado no meio industrial. Portanto este trabalho procura verificar a confiabilidade da ferramenta de corte com fluido e sem fluido, estabelecendo assim uma faixa de atuação da ferramenta tanto para desgaste de flanco como por tempo efetivo de usinagem. Os resultados mostraram que ensaios previos, podem indicar o tempo em que a ferramenta atua sem perder as características de corte, e que o fluido de corte tende a estabilizar o processo, havendo um crescimento quase que linear do desgaste de flanco.

Palavras-chave: Torneamento, Desgaste de flanco, Vida da ferramenta de corte.

Study of reliability of cutting tool in turning process

Abstract

For the determination of the end of the life of cutting tool there are several criteria, being the most efficient and reliable measurement of flank wear. Despite the reliability of this method, the same is not practical to be implemented in the industrial environment. Therefore this work seeks to verify the reliability of cutting tool with fluid and without fluid, thus establishing a practice track for both tool flank wear by effective time machining. The results showed that tests previous, may indicate the time at which the tool acts without losing the characteristics of the cut, and that the cutting fluid tends to stabilize the process, with an almost linear growth of flank wear.

Key-words: Turning, Wear of flank, cutting tool Life.

1. Introdução

Os processos de usinagem no decorrer dos tempos vêm sofrendo inúmeras alterações, em muitos casos devido a competitividade do mercado e a necessidade contínua de melhoria de qualidade do produto. E no contexto atual a redução de custos de produção se tornou quase que uma meta diária dentro das empresas.

Para Javier; Domingues (2005) tanto há a necessidade de um melhoramento nos processos produtivos, jogando sempre com os fatores prazo, custo e qualidade. Portanto busca-se sempre uma redução do custo final do produto, havendo assim um aumento da produção em larga escala, utilização mais eficiente da ferramenta de corte e das energias utilizadas no processo. Segundo Coppini; Baptista (1998) há um investimento cada vez mais elevado em pesquisas que tenham por finalidade a melhoria do processo, aliado a redução dos custos finais.

A utilização eficiente dos equipamentos tem grande peso sobre o custo final do produto, para tanto se busca a otimização do processo, utilizando máquinas mais modernas, melhor treinamento dos funcionários, pesquisas relacionadas à durabilidade de materiais empregados no processo e as melhores condições de usinagem. Nesta etapa ainda pode se notar a necessidade de uma programação das atividades que serão desempenhadas durante a obtenção do produto.

Segundo Stemmer (1995) o custo de um lote de peças depende quase que exclusivamente do tempo necessário para a sua fabricação, tempo este que engloba desde a preparação do material, máquina até a distribuição do produto finalizado. Baseando-se nesta idéia de tempo/custo e inserido na questão das ferramentas de corte, Ferraresi (1970) afirma que o tempo gasto com a substituição do inserto, bem como a troca antes do fim da vida útil, tem uma maior relevância nos custos, devido à parada máquina. Notar-se, portanto que o tempo utilizado na substituição do inserto tem influência no custo final, e portanto deve ser levado em consideração como fator de relevância na etapa.

Para a determinação do fim da vida útil da ferramenta de corte, se utiliza segundo Stemmer (1995) a falha completa da ferramenta, largura da marca de desgaste no flanco (desgaste de flanco), vibrações do conjunto, acabamento superficial, formação dos cavacos, alteração das dimensões da peça, forças utilizadas e etc. Ainda segundo Silva; Coelho; Catai (2004) os principais métodos que auxiliam na estimativa do fim da vida útil da ferramenta de corte nas indústrias são a rugosidade final (para operações de acabamento), tipo de cavaco formado durante a usinagem e as variações dimensionais da peça, ainda pode se acrescentar neste grupo o tempo de usinagem de cada aresta de corte. Porém muitas vezes estes métodos não resultam isoladamente numa verdade sobre o fim da vida útil.

Portanto desta forma procura-se com este trabalho verificar a confiabilidade da ferramenta de corte com fluido e sem fluido de corte, estabelecendo assim uma faixa de atuação da ferramenta tanto para desgaste de flanco como por tempo efetivo de usinagem. Ou seja avaliar e determinar o intervalo de confiança (tempo efetivo de usinagem) no qual a ferramenta de corte permanece com suas plenas características de corte, sob a influência de fluido de corte e sem fluido de corte.

2. Revisão de literatura

2.1. Processo de usinagem e torneamento

De acordo com Ferraresi (1970) e Brown (1998), a operação de usinagem pode ser entendida como o processo que confere a peça sua forma, dimensões e acabamento através da remoção de material sobressalente na forma de cavacos.

Dentro da experiência fabril a operação de torneamento é a mais utilizada, visto sua versatilidade, e aplicação na obtenção parcial ou por completo das mais diversas peças, podendo ser comprovado por Trent; Wright (2000), o qual cita que é o processo mais comumente empregado em trabalhos de corte de metal.

Este processo se baseia no movimento relativo da peça em seu próprio eixo (fig. 1), notando-se que ocorre uma retirada progressiva de material da peça na forma de cavaco, cavaco este que é gerado pela ferramenta de corte, sob um só gume.

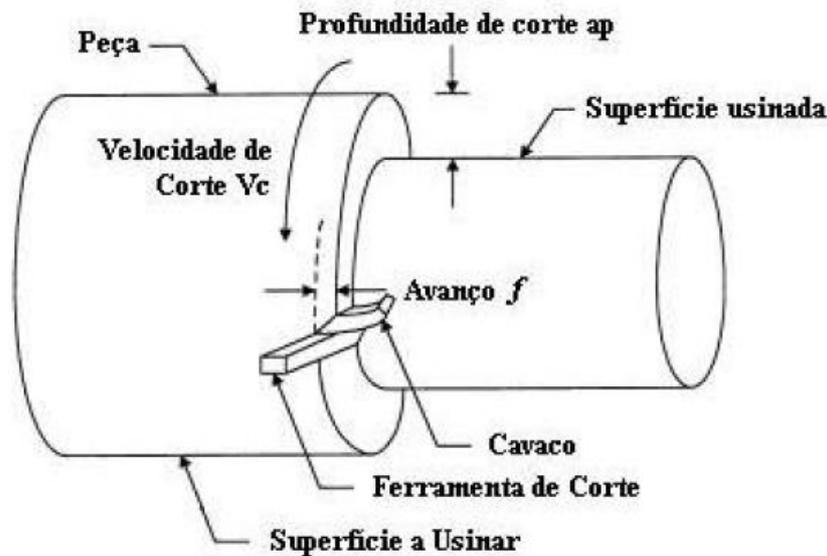


Figura 1 – Processo de usinagem
(Fonte: MACHADO e SILVA, 1999)

Pode se notar que durante o processo de torneamento a ferramenta penetra na peça que esta em movimento ao redor de seu eixo, com certa força necessária para se cisalhar o material dando forma à peça. Para tanto são necessários basicamente três movimentos relativos entre peça e ferramenta. (TRENT;WRIGHT, 2000)

- Movimento de corte: movimento principal que tem por objetivo provocar um deslocamento peça/ferramenta e permite que ocorra o corte;
- Movimento de avanço: movimento de deslocamento da ferramenta ao longo da peça, o qual juntamente com o movimento de corte provoca uma remoção contínua de cavaco;
- Movimento de penetração: movimento de penetração da ferramenta na peça, profundidade, determinando a largura do cavaco.

No torneamento existem basicamente dois fatores cuja influência independente de material de peça e ferramenta, e determinam o resultado final do processo: os parâmetros de corte e a geometria da aresta de corte.

Entre os parâmetros de corte, a velocidade de corte (v_c) pode ser definida como a “velocidade instantânea do movimento principal, do ponto selecionado do gume em relação à peça” (STEMMER, 1995; p.10). A faixa de valores recomendados para a velocidade de corte normalmente são dados através de tabelas ou catálogos de fabricantes de ferramentas.

O avanço (f) é a distância percorrida pela ferramenta por revolução da peça, dada em (mm/rot), e a profundidade de corte (a_p) é a profundidade de penetração da ferramenta na peça em (mm), ambos os parâmetros definidos através de uma faixa de valores contidas no catálogo do fabricante ou pelo tipo de material a ser usinado.

2.2. Fluido de corte

Basicamente os fluidos de corte têm por objetivo aumentar a vida útil da ferramenta de corte, aumentar a eficiência de remoção de material (cavaco), melhorar o acabamento superficial e

reduzir a força e a potência necessárias ao corte, proteção contra corrosão e eliminar o gume postiço. (STEMMER, 1995)

Dentre as principais funções do fluido de corte destacam-se duas a de refrigeração da ferramenta e a de lubrificação. A refrigeração é importante normalmente a altas temperaturas, onde o fluido age dissipando o calor, evitando o amolecimento e queima da ferramenta de corte, principalmente no gume principal, esta medida proporciona um aumento significativo na vida da ferramenta. Segundo Diniz; Marcondes; Coppini (2006) um fluido de corte deve possuir uma baixa viscosidade a fim de que o calor flua facilmente pelas superfícies da peça, deve estabelecer um bom contato térmico na peça e ferramenta, um alto calor específico e um boa condutividade térmica, a fim de facilitar a refrigeração do conjunto.

A baixas velocidades de corte pode se verificar que a lubrificação age na “zona de contato da peça e do cavaco com a face da ferramenta” (STEMMER, 1995; p.149). Nesta região há um intenso atrito com a peça e o cavaco, gerando calor e por consequência do atrito exigindo maior potência para o corte. O meio lubrificante, age formando uma película entre as parte, devido à aspereza do material, em geral a lubrificação deve agir de forma a reduzir o coeficiente de atrito entre a peça e a ferramenta.

Dentre os fluidos de corte existem basicamente dois tipos, os miscíveis em água e os não miscíveis.

A seleção do fluido de corte é muito importante, pois ela determinara um bom rendimento do processo, com menor desgaste da ferramenta, menor exigência de potência para o corte e por consequência menor temperatura.

Para tanto há de se lembrar de alguns critérios para a sua seleção, que Stemmer (1995) expõem nos seguintes itens:

- variáveis do processo;
- qualidade da usinagem;
- máquinas empregadas;
- sistema de recirculação;
- outros.

Diniz; Marcondes; Coppini (2006) citam que os principais critérios para a seleção do fluido de corte são o material da peça a ser usinado, pois alguns materiais devem ser usinados a seco, outros não se podem utilizar fluidos com água na composição e outros requisitam de fluidos específicos. As condições de usinagem são importantes na seleção devido a severidade da usinagem, quanto mais pesada esta deve se optar por óleos e em contra partida os miscíveis em água nos processos mais brandos; o material da ferramenta leva a seleção adequada conforme sua base e seus revestimento, impedindo o uso de fluidos miscíveis em água em alguns casos.

2.3. Avaliação da vida útil da ferramenta de corte

A vida da ferramenta de corte é um fator de relevância no processo de usinagem, no qual Novaski (1991) afirma que em um sentido mais geral a vida da ferramenta e dada quando esta ultrapassa a barreira e não produz mais peças satisfatórias do ponto de vista econômico. Ou ainda o tempo que ela trabalha em efetiva ação sem perder a sua capacidade de corte. Sendo assim defini-se tempo de duração da ferramenta a troca entre duas sucessivas reafiações que forem necessárias. (FERRARESI, 1970)

Mas para uma determinação exata desta barreira, se utilizam critérios mais específicos, relacionados aos tipos de desgaste o qual o inserto esta submetido, determinando assim o fim da vida útil.

Inicialmente deve-se entender que a ferramenta esta submetida a falhas, as quais Stemmer (1995) expõem em três formas, o lascamento do gume, o desgaste de flanco e o desgaste de face, ambas as falhas podem ser visualizados na fig.2. O lascamento gera superfícies ásperas e irregulares, fugindo assim muitas vezes dos critérios de projeto, este tipo de defeito esta relacionado normalmente a algum problema no conjunto máquina/ferramenta/parâmetros. Já o desgaste de flanco, usualmente o mais monitorado devido a maior facilidade de medição, demonstra o grau de desgaste do inserto no flanco da ferramenta em função do atrito entre flanco da ferramenta e peça. Por fim o desgaste da face, normalmente visualizado na forma de crateras, devido à passagem do cavaco formado durante o processo.

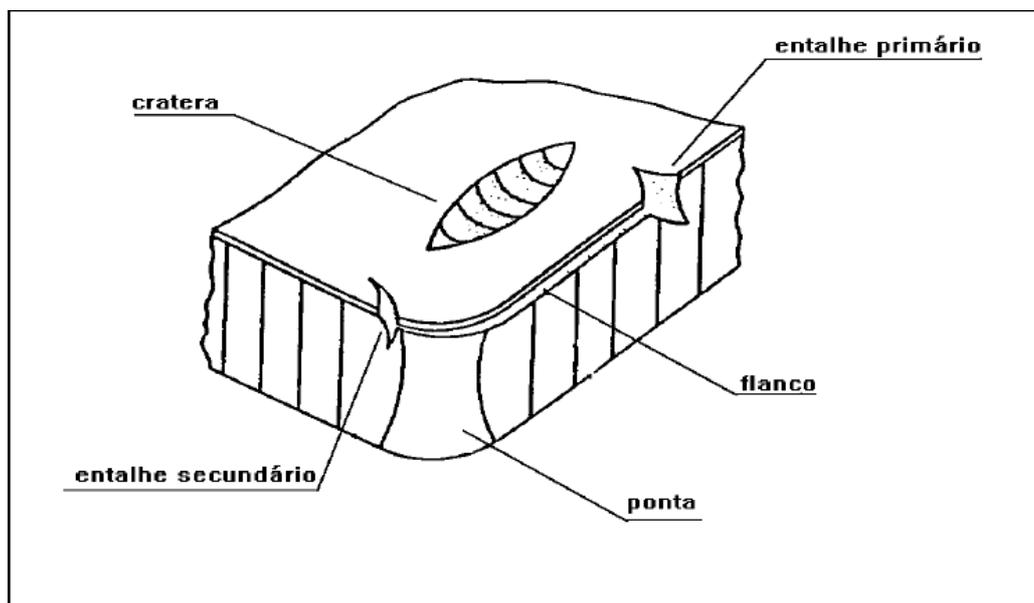


Figura 2 – Tipos de desgastes ocorridos no inserto de corte
(Fonte: COSTA, C. E. ; JUNIOR, M. V. ; AZEVEDO, V. G.)

Deve se notar que uma vez iniciada a usinagem, inicia-se paralelamente o processo de desgaste da ferramenta. A velocidade do desgaste esta diretamente ligada às propriedades mecânicas do material a ser usinado, da interação química da peça com a ferramenta, e ainda dos parâmetros de corte empregados no processo. Parâmetros estes que atuam diretamente sobre a vida útil da ferramenta, Stemmer (1995) expõem que a velocidade de corte é o parâmetro de maior influência.

Segundo Diniz; Marcondes; Coppini (2006) existem mecanismos que causam desgaste nas ferramentas de corte, estes podem ser divididos em: aresta postiça de corte, abrasão mecânica, aderência, difusão e oxidação. Estes mecanismos aliados levam a surgimento de características que podem determinar que a vida da ferramenta de corte esta acabando, ou que, para aquele determinado caso a ferramenta perdeu a capacidade de gerar peças dentro dos parâmetros de projeto e se torna assim economicamente inviável.

Estes critérios que determinam o fim da vida útil podem ser descritos como: falha completa da ferramenta, falha preliminar da ferramenta, largura da marca de desgaste no flanco, vibrações ou ruídos, profundidade da cratera, deficiência do acabamento superficial, formação

de rebarbar, forma dos cavacos, alteração das dimensões da peça, forças envolvidas, temperatura. (STEMMER, 1995)

Para uma eficiente determinação do fim da vida útil da ferramenta de corte deve se aliar critérios, para assim conseguir chegar a um diagnóstico preciso e com confiabilidades, visando sempre o melhor aproveitamento da ferramenta e o fator produtivo. Dentro destes fatores pode se destacar quatro em especial, desgaste de flanco, rugosidade ou acabamento, cavaco formado, e variações dimensionais da peça. (SILVA; COELHO; CATAI, 2004)

Deve ser notado que o principal meio de determinar o desgaste do inserto é pela análise de seu flanco, pois com o passar do tempo este sofrerá um efeito direto da usinagem. As faixas de desgaste para qual o inserto ainda tem sua capacidade de operação normalmente são informadas no catálogo do fabricante da ferramenta, tornando assim um parâmetro de importante relevância, senão o mais importante.

2.4. Desgaste de flanco

O desgaste de flanco se desenvolve durante a vida de trabalho de todas as ferramentas de usinagem. Saber sobre como o desgaste aparece e o efeito que ele exerce, ajudará a maximizar a produtividade no processo de torneamento.

Este tipo de desgaste, afeta gradualmente a resistência do inserto, no fim da vida útil, no acabamento superficial, na rugosidade e na tolerância dimensional da peça.

Em princípio, uma ferramenta de usinagem deve satisfazer a quatro requisitos básicos:

- Estabilidade química;
- Resistência a abrasão e a dureza a quente;
- Resistência à deformação plástica;
- Tenacidade.

Durante o processo de usinagem (entenda-se torneamento), principalmente nas realizadas a seco, observa-se a geração de elevadas temperaturas e altas pressões de corte. Esse fenômeno tem influência direta sobre o comportamento da ferramenta tanto no que se refere ao desempenho, como no que diz respeito à durabilidade da ferramenta, afetando diretamente o flanco da ferramenta. (COSTA, C. E. *apud* ZHANG; SATISH and KO, 1994)

Apresentado os requisitos básicos de uma ferramenta e algumas das conseqüências geradas no processo, pode-se dizer que o mais vantajoso para a operação seria uma combinação de altos valores de cada uma das três propriedades (dureza, resistência a abrasão e a deformação, e tenacidade). Porém este conjunto de propriedades dificilmente será encontrado em uma ferramenta, pois com o aumento de uma ocorre uma tendência de queda por mais que mínima de outra propriedade.

O desgaste de flanco ou frontal (fig. 3), tipo que surge com maior freqüência nas operações de torneamento, é causado, principalmente, pelo atrito da peça com a superfície de folga da ferramenta. É comumente utilizado como critério de fim de vida quando se deseja monitorar diretamente a vida de uma ferramenta, visto a facilidade de verificação e medição da largura da região do desgaste.

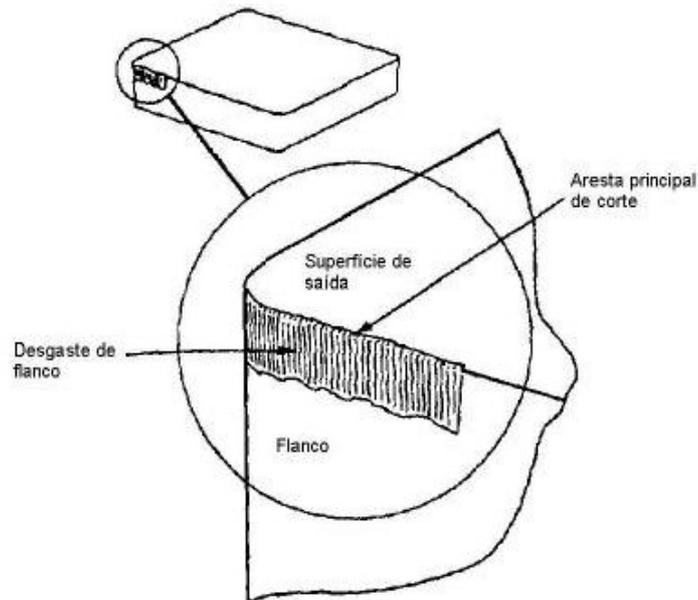


Figura 3 – Representação esquemática do desgaste de flanco
(Fonte: AMORIN, H. J. de; 2002)

Indiretamente, pode-se também acompanhar a evolução desse desgaste através do monitoramento das forças de corte e de avanço, da vibração da ferramenta e/ou da potência elétrica consumida pelo processo, uma vez que o desgaste frontal afeta tanto a superfície usinada, como aumenta a área de contato ferramenta – peça elevando os níveis de força, vibração e potência consumida no processo. (COSTA, 1995)

3. Procedimento experimental

O experimento consiste basicamente no torneamento longitudinal externo em torno CNC de corpos de prova em aço ABNT 1045 fundido e ABNT 1045, com fluido de corte e sem fluido de corte, onde se realizarão conjuntos de passes de acabamento e análise das variáveis após cada conjunto de passes.

Para tanto serão realizados os seguintes procedimentos ao final de cada conjunto de passes:

- Usinagem dos corpos de prova, passes de acabamento;
- Medição do desgaste de flanco do inserto de metal duro;

Utilizar-se-á como critério para fim da vida da ferramenta o desgaste de flanco máximo igual a 0,25 mm (usual para acabamento).

Foi realizado um pré-aquecimento da máquina para minimizar variações dimensionais na peça, resultantes da dilatação do conjunto máquina, ferramenta, peça. O tempo de aquecimento da máquina foi de aproximadamente 1 hora, rodando o programa de usinagem em vazio.

No caso da usinagem a seco, será realizado um processo de resfriamento da peça a cada conjunto de passes, com o objetivo da minimização do efeito da dilatação do material devido a temperatura, este resfriamento será efetuado em torneira com água corrente. Primeiramente de um lado da peça, até que esta esteja resfriada, posteriormente ocorrerá à inversão de lado

da peça, o critério para determinação do resfriamento é subjetivo, o operador vira a peça assim que verifica que esta adequada, esta determinação é realizada com a palma da mão.

Na realização deste trabalho, foram utilizados dois materiais: aço ABNT 1045 fundido ligado (Fe 98,643% – Mg 0,714769% - Cr 0,193127%) (88,5 ± 0,5 HRB) com comprimento de 440 mm e diâmetro 120 mm e ABNT 1045 (95 ± 0,5 HRB), comprimento de 440 mm e diâmetro de 94 mm . A dureza foi obtida realizando-se medidas no diâmetro externo a cada 120°, obtendo três medidas para cada posição, chegando à dureza acima indicada, não se realizou tratamento térmico, para os testes realizados em nenhum dos aços estudados.

Em todos os ensaios, para ambos os aços, a ferramenta de corte usada foi uma TNMG 160408 PF 4025, em conjunto com o suporte de ferramenta MTJNR 2525 M16 ambos fabricados pela empresa Sandvik Coromant. Esta ferramenta é feita de metal duro classe ISO P25.

O fluido de corte utilizado é uma emulsão de base vegetal com 5% de concentração, com o nome comercial de Vasco 1000, cujo fabricante é a empresa Blasser Swisslube.

Torno CNC: marca Romi, modelo Galaxy 15 S. Este torno possui como características potência de 15 KVA, rotação máxima de 4500 rpm.

O desgaste de flanco da ferramenta foi medido com um microscópio de ferramenteiro marca Metrimpex – PZO Labimex. Este microscópio possui dois nônios (para medição em x e y), com resolução de 2,54 μm .

Os parâmetros de corte utilizados nos ensaios para os aços ABNT 1045 fundido e 1045 são apresentados na tabela 01. Os referidos parâmetros foram definidos a partir do catálogo do fabricante da ferramenta.

Tabela 1 – Parâmetros de corte selecionados

Parâmetro	Valor
Avanço f (mm/volta)	0,15
Profundidade de corte a_p (mm)	1
Velocidade de corte v_c (m/min)	250

4. Resultados e discussão

4.1. Vida da ferramenta

Para a análise da vida útil do inserto de corte, utilizou-se o critério pré-determinado de 0,25 mm para o desgaste de flanco. A partir dos tempos de corte efetivos obtidos, realizou-se uma análise comparativa para a determinação da faixa de vida do inserto para cada tipo de aço com e sem fluido.

Com o gráfico 1 pode-se visualizar que os ensaios sem fluido de corte apresentaram uma dispersão da vida maior do que para com os ensaios com fluido de corte. No ensaio com fluido notou-se a presença de um fim de vida com pouca dispersão ou dispersão nula, podendo ter uma estimativa razoável de quando a ferramenta perde sua eficiência para o corte.

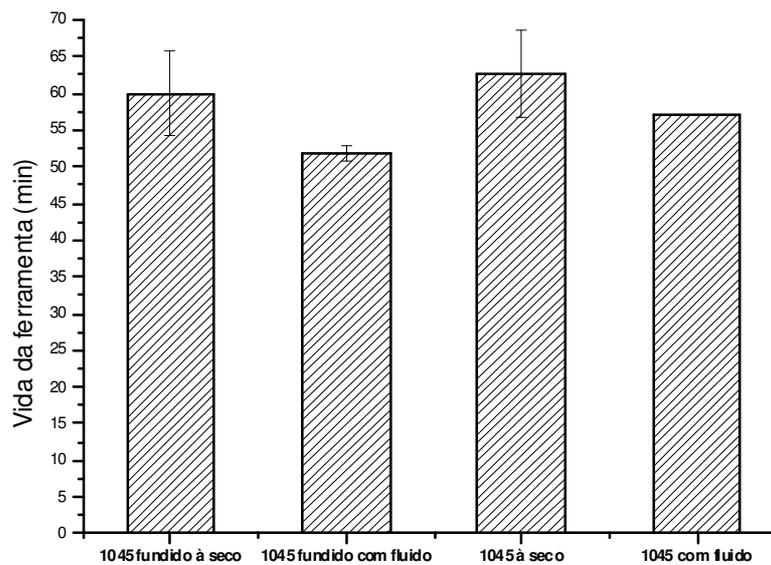


Gráfico 1 – Vida da ferramenta de corte

Baseado na literatura técnica (Stemmer, 1995; Diniz; Marcondes; Coppini, 2006; Ferraresi, 1970), pode-se fazer as seguintes considerações.

Para os parâmetros de corte utilizados, a cobertura da ferramenta resistiu bem as altas temperaturas da região de formação do cavaco. Por outro lado, o fluido de corte não conseguiu desempenhar seu papel de forma adequada, resfriando a região de formação de cavaco. Como o torneamento é um processo de corte contínuo e o comprimento do passe (cerca de 450 mm tempo médio do passe de 4 minutos e 30 segundos) pode ser considerado longo havia tempo suficiente para estabelecer e estabilizar uma temperatura elevada na temperatura (mesmo que pontual). O fluido de corte deveria abaixar a temperatura desta região mesmo de forma indireta. O que os dados apontam é que no corte a seco o material da peça reduziu sua resistência mecânica devido a alta temperatura o que facilita o corte e a cobertura da ferramenta suportou bem a temperatura. Com a aplicação do fluido de corte o material da peça manteve a sua resistência o que tornou a usinagem mais severa e para a ferramenta de corte não trouxe benefício uma vez que a cobertura suportou bem a temperatura na região de formação de cavaco.

4.2. Desgaste de flanco

O desgaste de flanco pré estabelecido foi de 0,25 mm, desgaste este que determina a perda da eficiência da ferramenta de corte, retirando as características desejáveis a usinagem de acabamento.

A partir dos valores obtidos para o aço ABNT 1045 fundido sem fluido (gráfico 2 - a) e com fluido (gráfico 2 - b) pode se notar que os ensaios permanecem com valores constantes de desgaste de flanco até aproximadamente os 40 minutos de ensaio, a partir deste ponto o ensaio sem fluido de corte sofre um aumento abrupto no desgaste, ocorrendo um crescimento muito acentuado. Já com o fluido de corte os valores para o desgaste permanecem dentro de uma taxa de crescimento com pouca variação, podendo ter um melhor controle do processo.

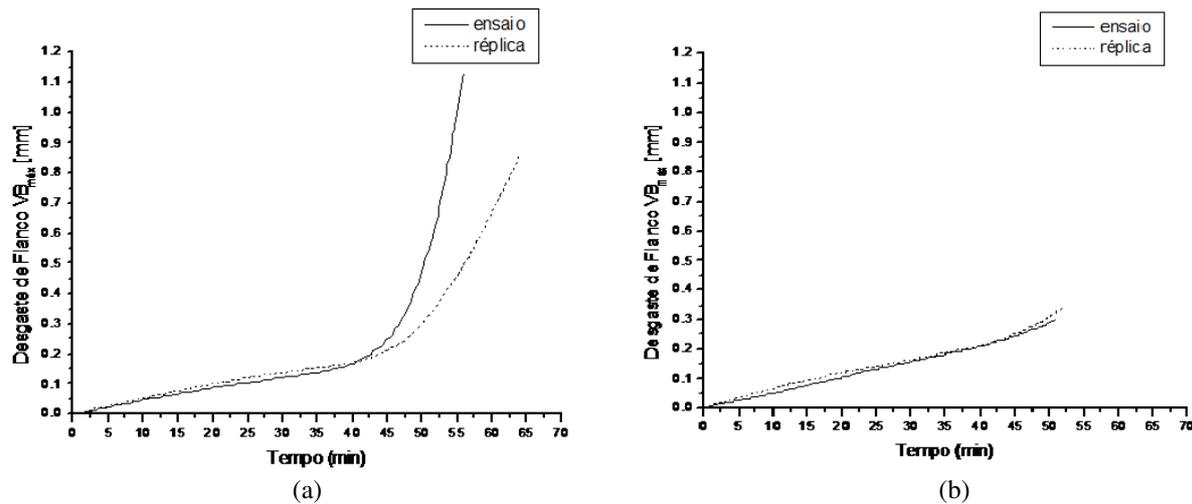


Gráfico 2 - Desgaste de flanco para o aço 1045 fundido, (a) à seco (ensaio e réplica), (b) com fluido (ensaio e réplica)

Para o aço ABNT 1045 há uma tendência de regularidade entre os ensaios sem fluido (gráfico 3 - a) e com fluido (gráfico 3 - b), havendo uma diferenciação do formato das curvas em relação ao aço ABNT 1045 fundido.

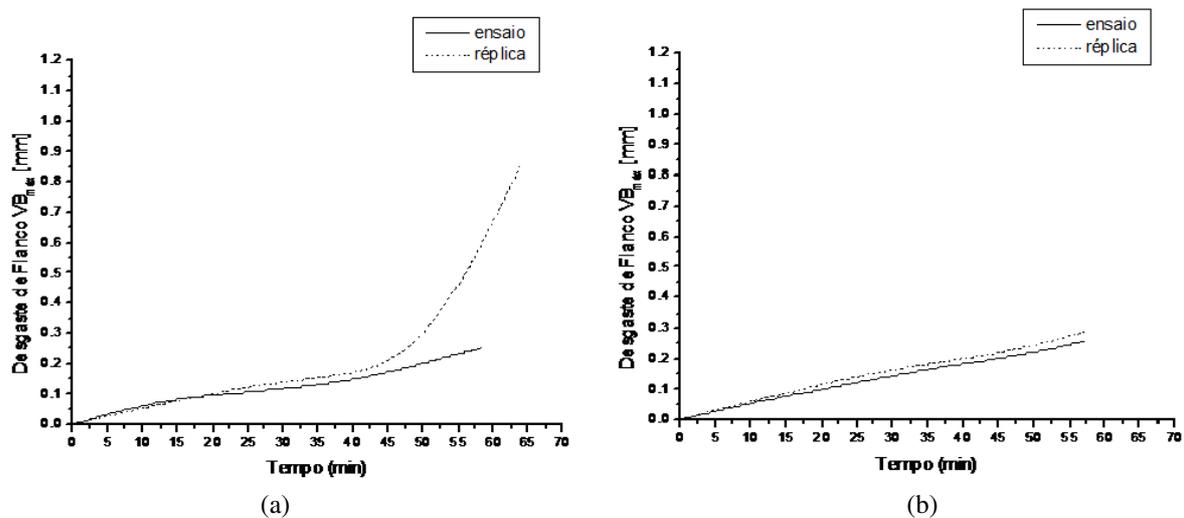


Gráfico 3 - Desgaste de flanco para o aço 1045, (a) à seco (ensaio e réplica), (b) com fluido (ensaio e réplica)

A partir da análise dos dados coletados e apresentados nos gráficos acima, pode se estabelecer uma relação entre as usinagens com e sem fluido de corte. Na usinagem sem fluido de corte não há uma estabilidade do processo de desgaste do inserto de corte, ele segue um crescimento quase linear até certo ponto, e a partir deste não se consegue estabelecer um padrão de crescimento do desgaste, não conseguindo assim prever quando o limite de desgaste será ultrapassado, e por conseqüência a capacidade do corte requerida.

Já para os ensaios com fluido de corte pode se perceber em ambos os materiais uma taxa de desgaste quase que linear com o passar do tempo. Os desgastes ocorrem em um padrão de crescimento contínuo até seu limite, para estes ensaios pode se determinar com alguma

certeza o tempo de usinagem efetivo em que o inserto de corte permanece com suas características de corte.

5. Conclusões

Com a análise dos resultados obtidos nos ensaio com os diferentes aços, pode se dizer quanto ao desgaste de flanco, que o fluido de corte influencia de modo a estabilizar o crescimento do desgaste quanto à determinação do fim da vida do inserto, pois mantém um padrão de crescimento do desgaste, o que é visualizado para os dois aços analisados.

Para uma análise de confiabilidade do inserto de corte e por consequencia uma parada de máquina com tempo programado, tem-se que levar em conta o tempo efetivo de corte, pois este fator é determinante nesta determinação, pois os ensaios sem fluido e com fluido de corte mantiveram-se dentro de uma mesma faixa de tempo de corte.

Portanto deve se ressaltar que para um controle adequado do processo, devem-se realizar ensaios anteriores a fabricação da peça final, pois visto que critérios de visualização mais simplificados e corriqueiros como o tempo efetivo de corte pode substituir a análise do desgaste de flanco, o qual dificilmente será utilizado em linha de produção, pois demanda de tempo e de equipamentos muitas vezes não disponíveis na fábrica.

Referências

- BROWN, J.** *Advanced machining technology handbook*. 2. ed. New York: Mcgraw-hill, 1998.
- CASTRO, J. G.; PIZZOLATO, N. D.** *A programação de lotes econômicos de produção (ELSP) com tempos e custos de setup dependentes da sequencia: um estudo de caso*, Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v.01, n. 03, 2005.
- COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A.** *Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenário de fabricação em usinagem*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ENEGEP, 1998, Niterói. Anais... Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998.
- COSTA, C. E. ; JUNIOR, M. V. ; AZEVEDO, V. G.** *Em busca da otimização da usinagem com cerâmica tendo por ferramenta a emissão acústica*. Universidade Metodista de Piracicaba; Faculdade de Eng. Mecânica.
- DINIZ, A.E., MARCONCES, F.C., COPPINI, N.L.** *Tecnologia da usinagem dos materiais*. 5ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.
- FERRARESI, D.** *Usinagem dos metais*. 3ª ed. São Paulo: E. Blücher, 1970.
- MACHADO, A. R.; SILVA, M. B.** *Usinagem dos metais*. Uberlândia: Laboratório de ensino e pesquisa em usinagem – UFU, 1999. vol. 4.
- NOVASKI, O.** *Custos de usinagem*. Campinas, SP: UNICAMP- Universidade Estadual de Campinas, 1991.
- SILVA, L. R; COELHO, R. T; CATAI, R. E.** *Desgaste de Ferramentas no Torneamento com Alta Velocidade de Corte de Superliga Waspaloy*, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, n. 2, jul. 2004.
- STEMMER, C. E.** *Ferramentas de corte I*. 4. ed., rev e ampl. Florianopolis: Ed. da UFSC, 1995.
- STEMMER, C. E.** *Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos*. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K.** *Metal cutting*. 4. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2000.