

ESTUDO DA VIDA DA FERRAMENTA DE CORTE DE METAL DURO NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1045

André Rezende de Figueiredo Oliveira, UFU, arfoliveira@femec.ufu.br

Gilcimar Cardoso de Paula, FPU, gil-psico@hotmail.com

Iago Carvalho Teixeira, UFU, iago_patrocinio@hotmail.com

Álison Rocha Machado, UFU, alissonm@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho emprega uma técnica para quantificar o desgaste da ferramenta de metal duro empregada no torneamento do aço ABNT 1045, utilizando análise de imagens adquiridas por varredura óptica, com o intuito de acompanhar a sua evolução em ensaio de vida da ferramenta. Para tanto, foram realizados processos de usinagem com as seguintes condições de corte: velocidade de corte de entre 100 e 250 m/mim, avanço de 0,25 mm/rev e profundidade de corte de 2,0 e 3,0 mm. Os ensaios foram interrompidos em tempos programados para se realizar as medições das marcas de desgaste, com a finalidade de avaliar a sua evolução. O cálculo de volume de desgaste foi realizado através de um programa de análise de superfície, cujas imagens foram adquiridas por varredura óptica com banda larga (luz branca). Foi avaliada a topografia da peça em cada passe, para tanto, foi medido o parâmetro topográfico de rugosidade média (R_a), para avaliação da topografia de desgaste foi utilizado um rugosímetro linear. Os resultados mostram que a morfologia da marca de desgaste na ferramenta de corte está relacionada aos resultados obtidos para topografia de peça, desta forma, o fim de vida da ferramenta foi decretado em comparação ao limite de rugosidade (R_a), que foram proporcionados pelo surgimento de dois tipos de desgaste na ferramenta: desgaste de flanco e desgaste de cratera.

Palavras chave: Torneamento, Desgaste da Ferramenta de Corte; Metal Duro; Aço ABNT 1045.

1. INTRODUÇÃO

O torneamento é a operação que promove a rotação de um sólido ao redor do eixo da máquina operatriz ao mesmo tempo em que uma ferramenta de corte retira material periféricamente, de modo a transformá-lo numa peça bem definida, tanto em relação à forma como às dimensões. Na operação de corte a ferramenta executa movimento de translação, enquanto a peça gira em torno de seu próprio eixo. (Machado, 2015)

O aço ABNT 1045 é empregado em diversos componentes da indústria, com 0,45% em peso de carbono em sua composição, é classificado como aço de médio teor de carbono com boas propriedades mecânicas e tenacidade, bem como boa usinabilidade e soldabilidade. Suas aplicações compreendem eixos, peças forjadas, engrenagens comuns, componentes estruturais de máquinas, virabrequim, etc. De acordo com a norma NBR NM 87/2000, que estabelece as composições químicas dos aços para construção mecânica, o aço ABNT 1045 deve apresentar uma distribuição equilibrada com relação à composição da matriz: ferrítica/perlítica.

A vida de uma ferramenta de corte pode ser definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja o critério de *fim de vida* previamente estabelecido. Este pode ser definido pelo grau de desgaste estabelecido. O desgaste da ferramenta afeta a precisão do corte, a qualidade do acabamento superficial e aumenta as forças envolvidas no de corte (Oliveira, 2015). A aresta da ferramenta se desgasta com maior facilidade na superfície de saída e no flanco, sendo dependente da forma e da duração da solicitação térmica, mecânica e química da região. O motivo do desgaste está na combinação de altas temperaturas de usinagem e fortes carregamentos mecânicos. Como o material da peça e da ferramenta, não são homogêneos, uma série de avarias e desgastes de naturezas distintas podem ser observados na ferramenta de corte ao longo de sua utilização. Segundo Oliveira e colaboradores (2015), para evitar que ocorra o colapso total da ferramenta, é fundamental que seja estipulado um limite para as avarias. Desgaste de flanco e cratera são as formas de desgaste mais regulares e previsíveis. Em decorrência disto, procura-se estabelecer condições de corte onde estas formas de desgastes dominantes sejam controladas, Fig. (1).



Figura 1. Principais tipos de desgaste de uma ferramenta de corte. (Adaptado de MACHADO, 2015)

A avaliação das marcas de desgaste nem sempre são nítidas, devido a mudanças de cor ou oxidações nas regiões limites de contato. O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída da ferramenta, causado pelo atrito entre a ferramenta e o cavaco. O crescimento do desgaste de cratera pode gerar a quebra da ferramenta, quando tal desgaste se encontra com o desgaste de flanco. As grandezas utilizadas nas medições de desgaste, geralmente, são realizadas por inspeção visual, utilizando lupa, com comparação de padrões, avaliação mecânica utilizando instrumento de medição como: paquímetro ou micrômetros; inspeção óptica utilizando microscópio ferramenteiro e inspeção óptico-eletrônica utilizando câmeras digitais tipo *CCD (Charge-Coupled Device)*. (Oliveira, 2011)

As avaliações de desgaste também podem ser realizadas indiretamente através da medição da vibração ou do nível de ruído do conjunto de usinagem. Pode-se avaliar também pela qualidade superficial de peça ou pela tolerância dimensional da mesma. A vida de uma ferramenta de corte pode ser definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja o critério de fim de vida previamente estabelecido. O desgaste da ferramenta afeta a precisão dimensional da peça, a qualidade do acabamento superficial, além de aumentar as forças e a potência envolvidas no corte.

A topografia de superfície de uma peça influencia as propriedades físico-químicas e mecânicas de partes em contato e também alguns componentes sem contato mecânico direto. A amplitude e as características espaciais de topografia de superfície dominam as aplicações funcionais em um universo tribológico. Além disso, o desempenho e a confiabilidade de componentes de engenharia podem ser aumentados selecionando-se características topográficas apropriadas. (Oliveira, 2015)

Os parâmetros topográficos possuem a capacidade de descrever uma superfície através de valores numéricos. Estes são calculados utilizando fórmulas e filtros matemáticos e estatísticos, preestabelecidas em normas técnicas. Técnicas de caracterização topográficas são bastante utilizadas na indústria e em pesquisas acadêmicas para controle funcional de superfícies, estas podem ser divididas em dois grupos com relação à representatividade. Pode-se analisar uma superfície através de um perfil bidimensional (2D) que tenha a capacidade de descrever a topografia da superfície analisada ou através de uma representação tridimensional da superfície (3D). Outra subdivisão relacionada às técnicas de topografia está ligada ao modo de varredura do equipamento. Pode-se realizar uma varredura da amostra por contato, utilizando um apalpador mecânico (sonda) ou varredura sem contato, utilizando feixe de luz. Segundo Oliveira (2010), técnicas de medição óptica possuem uma vantagem com relação aos métodos de avaliação de superfícies com apalpadores mecânicos: elas evitam o contato entre mensurando e mensurador e consequentemente não caracterizam o ensaio como destrutivo. Equipamentos ópticos modernos dispõem de fontes laser com comprimento de onda da ordem entre 800 e 400 nm. A resolução dos equipamentos de caracterização topográfica está intimamente relacionada a esta capacidade de penetração da luz ou ao raio de ponta dos apalpadores mecânicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo utilizou-se ferramenta de corte de metal duro na usinagem de uma barra de aço ABNT 1045 que passou por um processo de desbaste. As dimensões iniciais da barra eram de: 50 mm de diâmetro e 384 mm de comprimento. Os passes foram realizados nas configurações entre 103,67 e 235,61 m/min. para velocidade de corte, avanço de 0,25 mm/revolução e profundidade de corte entre 2 e 3 mm. Os testes de torneamento foram realizados em um torno marca *Romi*, Modelo *Tormax 35A*. Foi utilizada uma ferramenta de corte de metal duro marca *Taegu Tec*, modelo *TNMG5080* com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN). A qual foi fixada em um ângulo de 90° entre peça e pastilha (Ângulo T) e ângulo de folga de 7°. Os ensaios foram realizados no torneamento em dez estágios (passes). Usando avanço constante foi retirado no primeiro estágio 2 mm na profundidade e 300 mm no comprimento. No segundo passe foram 2 mm na profundidade e 270 mm no comprimento. No terceiro passe, 3 mm na profundidade e 240 mm no comprimento. Na mesma profundidade de 3 mm o quarto estágio foi realizado, a profundidade de corte foi modificada, pois a constante de desgaste continuava muito próxima uma da outra nas primeiras medições e não atendia o previsto para o resultado final. Sendo adotada essa profundidade, permanece constante o avanço em todas as etapas, até o décimo estágio, totalizando 1437,21 m de comprimento de usinado.

2.1 – Metodologia de Caracterização

As medidas dos desgastes da ferramenta de corte foram realizadas por microscopia ótica usando varredura com escâner *Zeta*, Figura (2), foram utilizadas para se calcular o volume de desgaste da ferramenta de corte.

O escâner *Zeta* possui um sensor de digitalização em linha que fornece resolução seis vezes maior em comparação com a área de sensores *CCD* comuns. Um sensor em linha cria uma imagem bidimensional e através da varredura realizada sobre a amostra é construindo uma imagem tridimensional.

Após a aquisição das imagens pelo sistema de varredura linear, as imagens foram analisadas utilizando-se o software *Digital Surf MountainsMap Universal®*, versão 3.0. A imagem capturada pelo escâner gera um arquivo no formato *bitmap (BMP)*, esta imagem é constituída de pontos individuais chamados de *pixels*. A Figura (3), mostra esta malha de pontos é transformada em matriz numérica pelo software *Mountains Maps*, pelo qual se realiza os cálculos de área, volume, topografia, etc. (Oliveira, 2015)

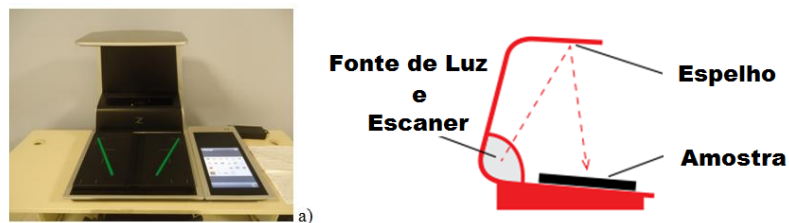


Figura 2. Escâner (a); Esquematização do sistema de varredura do escâner (b).

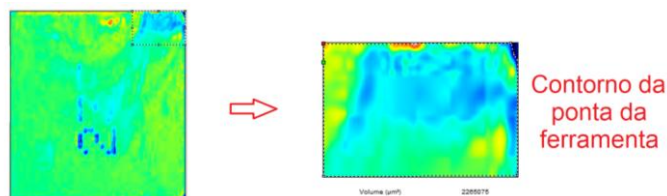


Figura 3. Processo de determinação do desgaste da ferramenta, seleção da área de desgaste. (Oliveira, 2015)

Após o cálculo os volumes de desgastes da ferramenta de corte de metal duro via escâner os resultados foram relacionados com os resultados de rugosidade da peça, obtidos com rugosímetro de contato *Mitutoyo*, modelo *SJ-201P*. Para o cálculo do parâmetro de rugosidade “Ra” aplicou-se um filtro de forma e ondulação de *cut-off* 0,8 μm , equivalente ao raio de ponta da ferramenta. (ABNT NBR ISO 4287)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho utilizou uma barra de aço ABNT 1045 com duas polegadas de diâmetro (50,80 mm). Os passes de torneamento foram realizados com parâmetro de avanço constante (0,25 mm/revolução), nas seguintes configurações: 1º passe: $a_p = 2$ mm e 300 mm no comprimento de usinagem; 2º passe: $a_p = 2$ mm e 270 mm no comprimento de usinagem; 3º passe: $a_p = 2$ mm e 240 mm no comprimento de usinagem; 4º passe: $a_p = 3$ mm e 210 mm no comprimento de usinagem; 5º passe: $a_p = 3$ mm e 180 mm no comprimento de usinagem; 6º passe: $a_p = 3$ mm e 150 mm no comprimento de usinagem; 7º passe: $a_p = 3$ mm e 120 mm no comprimento de usinagem; 8º passe: $a_p = 3$ mm e 90 mm no comprimento de usinagem; 9º passe: $a_p = 3$ mm e 60 mm no comprimento de usinagem e 10º passe: $a_p = 3$ mm e 30 mm no comprimento de usinagem. A Figura (4) mostra os resultados de usinagem da barra após o 1º passe e após o 10º passe.



Figura 4. Imagens da peça após o 1º (a) e 10º (b) passe de torneamento.

A Figura (5) mostra a evolução do diâmetro da peça a cada passe, observa-se a redução do diâmetro. Diâmetro inicial de 50,80 mm e final de 22 mm (décimo passe).

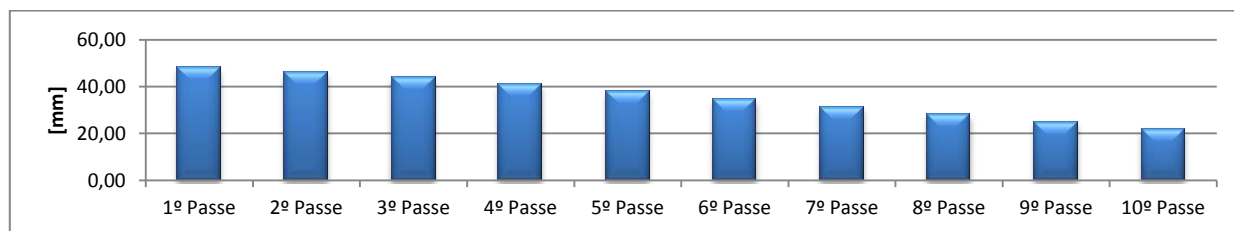


Figura 5. Evolução do diâmetro da peça a cada passe.

Verifica-se que a velocidade de corte cai em função da diminuição do diâmetro como mostra a Fig. (6). Como a rotação é constante, a redução do diâmetro faz com que haja essa diminuição da velocidade de corte.

Neste trabalho o critério de vida de ferramenta levou em conta o volume da cratera formada na ponta da ferramenta de corte em função do comprimento usinagem. A Figura (7) mostra imagens de microscopia óptica da ponta da ferramenta de corte de metal duro, o cálculo de volume de desgaste da ferramenta foi determinado após cada passe. As imagens foram obtidas via varredura óptica com escâner *Zeta* e tratadas no *software Mountains Maps®*, pelo qual se realizou o cálculo de volume de desgaste.

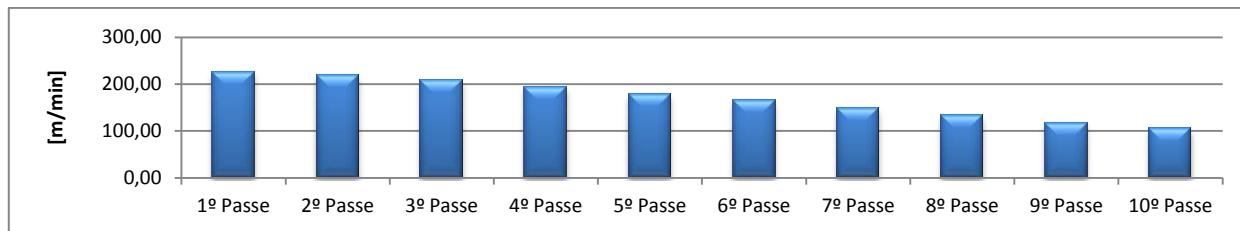


Figura 6. Velocidade de corte em função do diâmetro para cada passe.

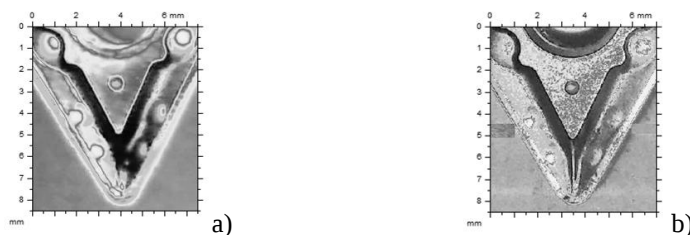


Figura 7. Evolução do desgaste da ferramenta de corte de metal duro. (a) 1º Passe, (b) 10º Passe.

O comprimento usinado total (L) é calculado pela volta realizada pelo material em relação à ferramenta em uma determinada velocidade de corte multiplicado pelo comprimento de usinagem linear (na direção do eixo axial). Portanto, pela razão entre a velocidade de corte e pelo tempo de usinagem, multiplicado pelo deslocamento linear, tem-se o comprimento total de usinagem (L). Portanto, para a execução deste trabalho foram percorridos 1.437,21 m no comprimento total usinado. Estes valores foram determinados a cada passe de torneamento, para se determinar o ponto de leitura de desgaste com relação ao comprimento usinado. A Figura (9) mostra os resultados dos cálculos dos volumes de desgastes da ferramenta de corte em função do comprimento usinado para cada ponto de leitura.

Pela Figura (8) observa-se que os volumes de desgaste calculados indica um fim de vida de ferramenta após o sétimo passe, ou seja, 1.331,33 m de usinagem. Para as severas condições de usinagem impostas, a média móvel de ordem dois indica um *fim de vida* para ferramenta de corte está entre 10 e 12 $\times 10^{-3} \text{ mm}^3$ para o desgaste da ferramenta. Após o sétimo passe, assume-se o risco de uma falha catastrófica da ferramenta durante a usinagem.

O parâmetro topográfico R_a descreve a rugosidade a partir de uma linha média, o resultado da Figura (9) mostra que a rugosidade está aumentando a cada passe de usinagem. Observa-se que o revestimento da pastilha (TiN) resiste até o 7º passe, este revestimento contribui para um bom acabamento. A partir do 8º passe esse revestimento sofreu destacamento e a matriz da pastilha começa a ter um contato direto com a peça usinada. Notas-se que a rugosidade aumenta, chegando ao 10º passe com o fim de vida da pastilha não havendo mais possibilidade de continuar a usinagem com a mesma ferramenta.

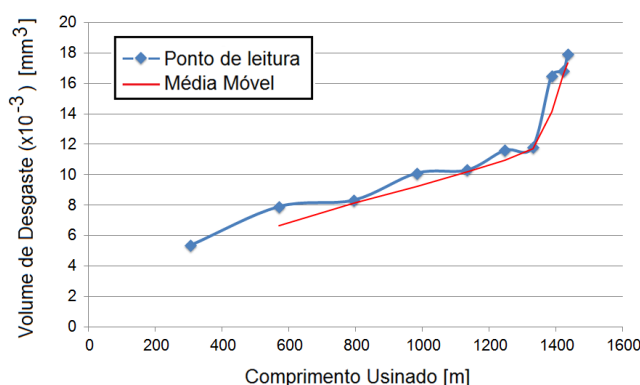


Figura 8. Volume de desgaste da ferramenta de corte pelo comprimento total usinado (L).

A Figura (9), também mostra que o desgaste da ferramenta interfere diretamente no acabamento superficial usinado. Na proporção com que a ferramenta perde suas propriedades, observa-se um comportamento não desejado na superfície.

Essa relação é dada pelo Volume de Desgaste [mm^3] e pelo parâmetro de rugosidade R_a [μm]. Verifica-se que no décimo passe a ferramenta aponta desgaste severo que pode ser constatado também no acabamento superficial da peça, valor de “ R_a ” acima de 60 μm .

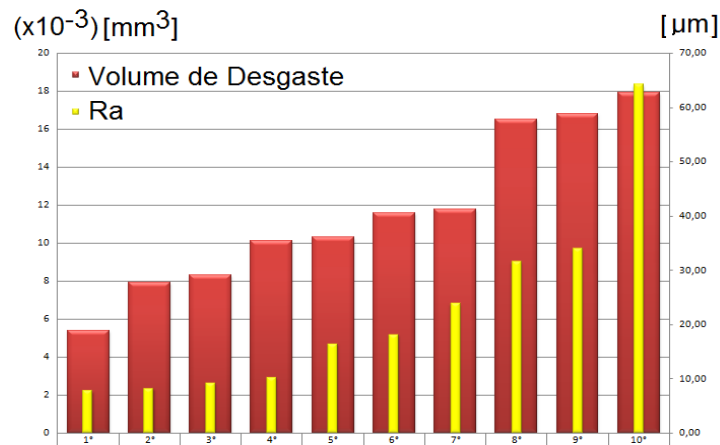


Figura 9. Relação entre o desgaste da ferramenta pelo parâmetro de rugosidade da peça.

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que é possível determinar a vida útil da ferramenta por meio da metodologia, que é baseada na topografia superficial da peça. Os volumes de desgaste da ferramenta de corte obtidos via varredura óptica, comprovaram que os resultados apresentados para o acabamento da peça usinada, estão fisicamente coerentes, pois tanto o desgaste apresentado na ferramenta quanto a rugosidade da peça servem para demonstrar que não pode mais continuar o processo de usinagem, sendo necessária a substituição da ferramenta de corte. O desgaste da ferramenta de corte decreta o fim de vida da mesma e determina tempo de parada programada, tornando possível uma substituição preventiva, garantido um bom acabamento superficial da peça. O acabamento superficial da amostra aponta que a ferramenta de corte de metal duro revestida com TiN usinando aço ABNT 1045 apresenta bons resultados até o quarto passe (984,26 m usinados), do quinto ao sétimo passe (1331,33 m usinados) os resultados foram classificados como medianos e indesejáveis para comprimentos de usinagem acima deste.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4287 - Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade, 2002.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Da Silva, M.B., Teoria da Usinagem dos Metais, 3ª Ed, Ed. Blucher, 2015.
- Oliveira, A.R.F., Cândido, B. H., Machado, A.R., Quantificação do Desgaste da Ferramenta de Corte por Varredura Óptica no Torneamento do Aço ABNT 1050, Salvador, BA, 8º COBEF, 2015.
- Oliveira, A.R.F.; De Mello, J.D.B.; Monte, A.F.G., Construction and analysis of surface images by using confocal laser scanning, X Encontro da SBPMAT, R.S., 2011

6. AGRADECIMENTOS

À Capes, CNPq e FAPEMIG pelo auxílio financeiro aos pesquisadores.

À Torneadora Dias Ltda de Tupaciguara-MG, por ceder seu espaço, materiais e equipamentos para a execução deste trabalho.

7. ABSTRACT

This study used a technique for measuring the wear of the cutting tool used in the ABNT 1045 steels. This technique uses images acquired by optical scanning analysis. Tests were performed with the following cutting conditions: cutting speed of between 250 and 100 m/min., feed 0.25 mm/rev and depth of cut of 2.0 to 3.0 mm. The cuts were stopped at scheduled times to perform the measurements of the wear marks. The wear volume calculation was performed using a surface analysis program, whose images were acquired by optical scanning with broadband (white light). The piece topography evaluation was performed at each step. A linear profilometer was used. It was measured topographical parameter average roughness (Ra). The analysis results of the wear scar morphology of the cutting tool are consistent with the results obtained for part topography. The end of the tool is determined by the roughness limit (Ra), which were provided by the appearance of both types of tool wear: flank wear and crater wear.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.