

INTEGRIDADE: UMA AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE E DA SUB-SUPERFÍCIE NO FRESAMENTO DE UM AÇO ENDURECIDO¹

Rodrigo Panosso Zeilmann²
Alfredo Tomé³
Diego Carlos Calza³
Fernando Moreira Bordin³
Juliano de Sousa Bueno³

Resumo

O fresamento é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria moderna, devido a aspectos como a elevada taxa de remoção de material e produção de superfícies complexas. O fresamento é um processo de alta flexibilidade, sendo utilizado na fabricação de superfícies planas, contornos, cavidades, entre outros. A qualidade tanto da superfície quanto da subsuperfície resultante do fresamento depende muito da geometria da ferramenta, das condições do corte e da máquina. A presença do fluido lubri-refrigerante pode causar danos à saúde dos operadores e ao meio ambiente. Portanto, algumas alternativas estão sendo usadas, como o uso de MQL (mínima quantidade de lubrificação). Neste trabalho foram desenvolvidos testes usando ferramentas de aço-rápido (AISI M2), com cobertura de nitreto de titânio (TiN), usando MQL como meio de lubrificação. Durante o ensaio foram usadas duas velocidades de corte, 30 e 50 m/min, e também duas profundidades de corte (a_p), sendo elas 0,4 e 0,8 mm. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar a integridade da peça fresada, com a variação de dois parâmetros de corte.

Palavras-chave: Fresamento; Integridade; Superfície; Sub-superfície.

INTEGRITY: AN EVALUATION OF SURFACE AND SUB-SURFACE IN MILLING OF A HARDENED STEEL

Abstract

Milling is one of the most used machining processes by the modern industry, due to aspects such as high rate of material removal and production of complex surfaces. Milling is a process of high flexibility, and is used on manufacturing of flat surfaces, contours, cavities, among others. The quality of surface and sub-surface resulting of milling process depends greatly on the tool geometry, cutting conditions and machine. The presence of cutting fluids may cause damages to health of operators and the environment. Therefore, some alternatives are being used, such as the use of MQL (minimal quantity of lubrication). In this work were carried out tests using high-speed steel tools (AISI M2), coated with titanium nitride (TiN), and MQL as lubricating. During the tests were applied two cutting speeds, 30 and 50 m/min, and two cutting depths, 0.4 and 0.8 mm. Thus, the purpose of this study is to evaluate the integrity of the machined work piece, with the variation of two cutting parameters.

Key words: Milling; Integrity; Surface; Sub-surface.

¹ *Contribuição técnica ao 7º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 15 e 16 de julho de 2009, São Paulo, SP.*

² *Professor Doutor, do Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).*

³ *Bolsistas do Departamento de Engenharia Mecânica, CCET, UCS.*

1 INTRODUÇÃO

Na indústria de moldes e matrizes, o principal processo de fabricação é o de usinagem. Caracterizando-se pela remoção de material, este processo é responsável por aproximadamente 65% do custo de um molde. Já a matéria prima envolvida, no caso o aço, corresponde a aproximadamente 20%. O restante do custo se divide entre a montagem e o tratamento térmico.⁽¹⁾

O fresamento de topo é uma operação de remoção de material muito usada na indústria automotiva, aeronáutica, e moldes e matrizes, segmentos nos quais é muito importante garantir a qualidade do acabamento da peça.⁽²⁾ Apesar de facilitar o corte, por reduzir a resistência ao cisalhamento do material da peça, o calor gerado durante a usinagem pode contribuir para o aparecimento de uma série de mecanismos de desgaste e, que conduzem a ferramenta de corte rapidamente ao seu fim de vida, além de promover distorções na peça fabricada.⁽²⁻³⁾

No processo de corte dos metais ocorrem deformações plásticas nas superfícies e sub-superfícies usinadas. Estas deformações plásticas são causadas pelas solicitações térmicas e mecânicas da ferramenta de corte agindo sobre o material. Desta forma a deformação plástica se deve a dois eventos: um mecânico, que gera tensões residuais de compressão e um térmico que gera tensão residual de tração.^(4,5)

Uma análise da condição de integridade da superfície e sub-superfície da peça é muito importante, principalmente no setor das indústrias fabricantes de moldes e matrizes, onde o desempenho final do seu produto tem relação com a integridade sub-superficial decorrente de seu processo de fabricação.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação existente entre os parâmetros de corte do processo de fresamento e sua condição de integridade superficial e sub-superficial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio experimental foi realizado em um centro de usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500. Foram utilizadas fresas de aço-rápido (AISI M2) conforme DIN 844, revestidas com nitreto de titânio (TiN), com diâmetro de 10 mm. Os parâmetros de corte variados foram: a velocidade de corte (v_c) e a profundidade axial de corte (a_p). Os testes foram feitos com aplicação de MQL de base vegetal (Blaser Swissslube Vascomill MKS 42, com vazão de 50 ml/h e pressão de 5 bar). O material usinado foi o aço AISI P20, com dureza entre 31 e 33 HRC sendo que o mesmo foi fixado a 0° na mesa da máquina-ferramenta. A Tabela 1 mostra as características das ferramentas e as condições de corte empregadas nos ensaios.

Tabela 1. Características da ferramenta e parâmetros de corte utilizados nos ensaios

| Diâmetro [mm] | Fluido | Revestimento | Velocidade de corte v_c [m/min] | Avanço por gume f_z [mm] | Profundidade axial a_p [mm] | Profundidade radial a_e [mm] | l/d |
|---------------|------------------|--------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----|
| 10 | MQL base vegetal | TiN | 30 | | 0,4 | | |
| | | | 50 | 0,1 | 0,4 | 3,33 | 3,5 |
| | | | 30 | | 0,8 | | |
| | | | 50 | | 0,8 | | |

Na Tabela 2 é mostrada a composição química do aço AISI P20, segundo a *American Society for Testing and Materials*.

Tabela 2. Composição química do aço AISI P20, segundo a norma ASTM, % em massa

| C | Mn | Si | Cr | Mo |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,28 – 0,40 | 0,60 – 1,00 | 0,20 – 0,80 | 1,40 – 2,00 | 0,30 – 0,55 |

Fonte: ASTM.

A integridade foi analisada utilizando-se um microscópio óptico Nikon Epiphot 200, e as rugosidades foram mensuradas através de um rugosímetro portátil Taylor-Hobson, modelo Surtronic 3+. Já para análise da textura superficial foi utilizado um estereoscópio trinocular de medição universal.

Durante a realização dos ensaios foram confeccionados dois corpos-de-prova do mesmo material, um destinado às análises de textura, rugosidade e deformações plásticas, e outro destinado a fazer o ensaio de vida de ferramenta, que foi realizado para um critério de fim de vida, desgaste de flanco máximo ($VB_{máx}$) de 0,60 mm ou a ocorrência de lascamentos, sendo determinante o que primeiro ocorresse.

3 RESULTADOS

Observou-se que, para todas as condições ensaiadas, a rugosidade tende a diminuir para a fresa em estado de fim de vida. Os maiores valores de rugosidade foram medidos para a condição com profundidade de corte (a_p) de 0,4 mm e velocidade de corte (v_c) de 30 m/min. O gráfico com os valores das rugosidades médias (R_a) é mostrado na Figura 1.

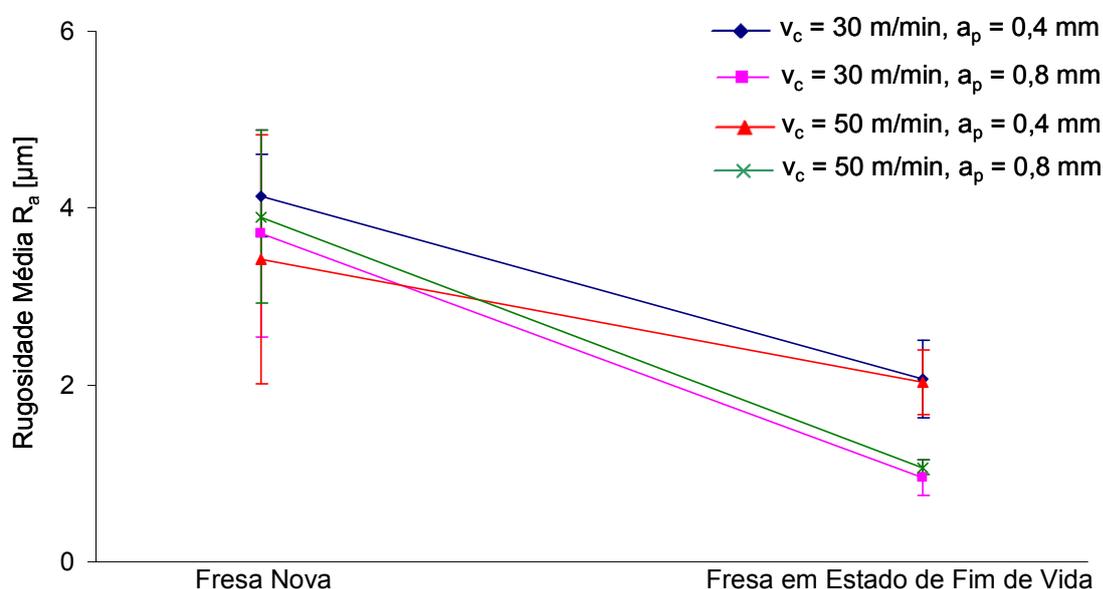


Figura 1. Gráfico da rugosidade R_a média da superfície usinada para ferramentas novas e em fim de vida para os diversos parâmetros do ensaio.

As maiores deformações observadas, tanto para ferramentas novas quanto para as ferramentas em estado de fim de vida, foram para a usinagem com velocidade de corte de 30 m/min e profundidade axial de corte de 0,8 mm.

As menores deformações plásticas encontradas nos corpos de prova foram para a condição de usinagem com $v_c = 50$ m/min e $a_p = 0,4$ mm, tanto para a condição de ferramenta nova como para ferramenta em fim de vida.

Utilizando-se a profundidade axial de corte de 0,4 mm, foram observadas maiores deformações plásticas com a utilização da velocidade de corte de 30 m/min, tanto para a fresa em estado nova como em fim de vida.

Para a condição específica de utilização da velocidade de corte de 30 m/min e da profundidade axial de corte de 0,4 mm, a deformação plástica do material do corpo de prova tende a diminuir à medida que a ferramenta se desgasta, de forma que as deformações plásticas encontradas para o estado de ferramenta nova são maiores que para a condição de ferramenta em final de vida.

As médias das máximas deformações plásticas encontradas para ferramentas novas e em estado fim de vida são mostradas na Figura 2.

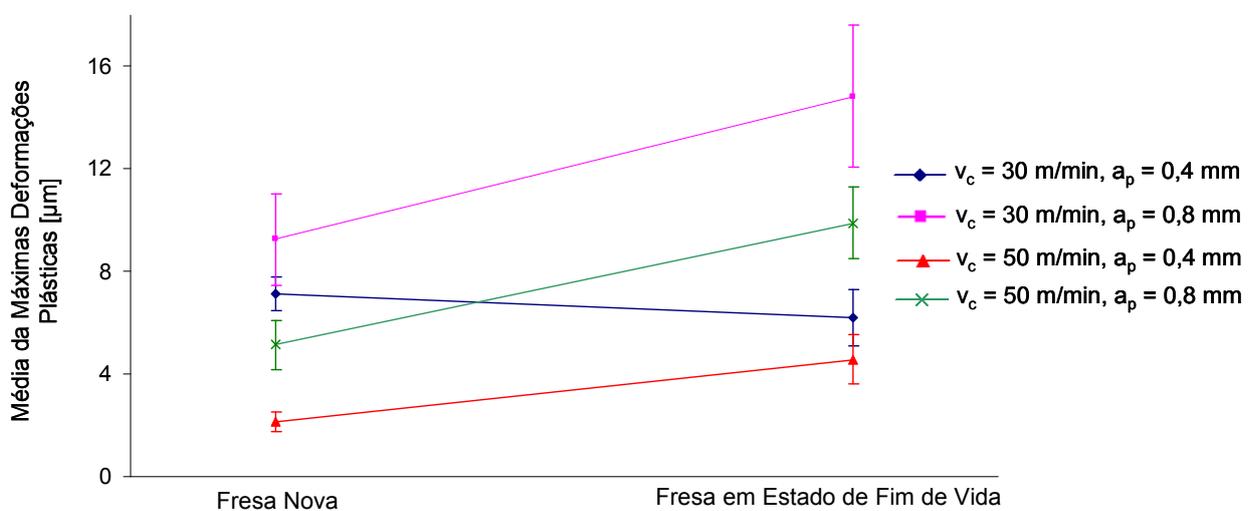


Figura 2. Gráfico das médias das deformações plásticas máximas encontradas para ferramentas novas e em fim de vida para os diversos parâmetros do ensaio.

Nas figuras abaixo são mostradas as texturas e as micrografias das superfícies usinadas para todas as condições ensaiadas, para os estados de ferramenta nova e em fim de vida.

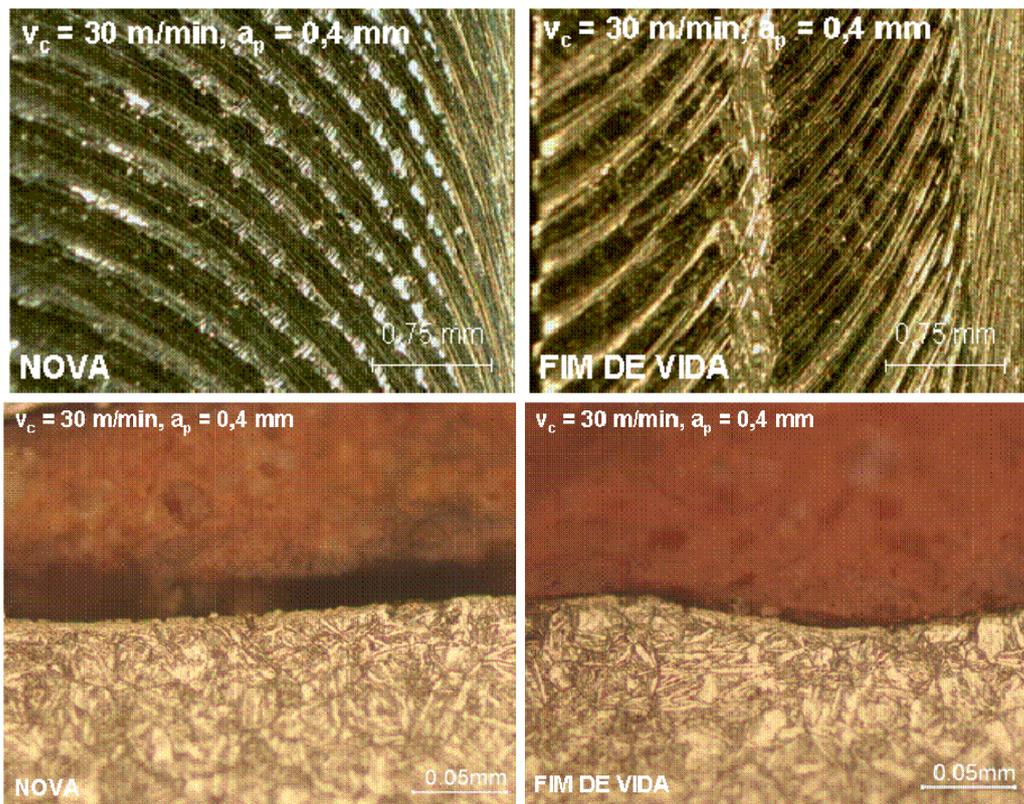


Figura 3. Imagem da textura superficial e metalografia da sub-superfície para ferramenta nova e em estado de fim de vida para velocidade de corte de 30 m/min e uma profundidade de corte axial de 0,4 mm.

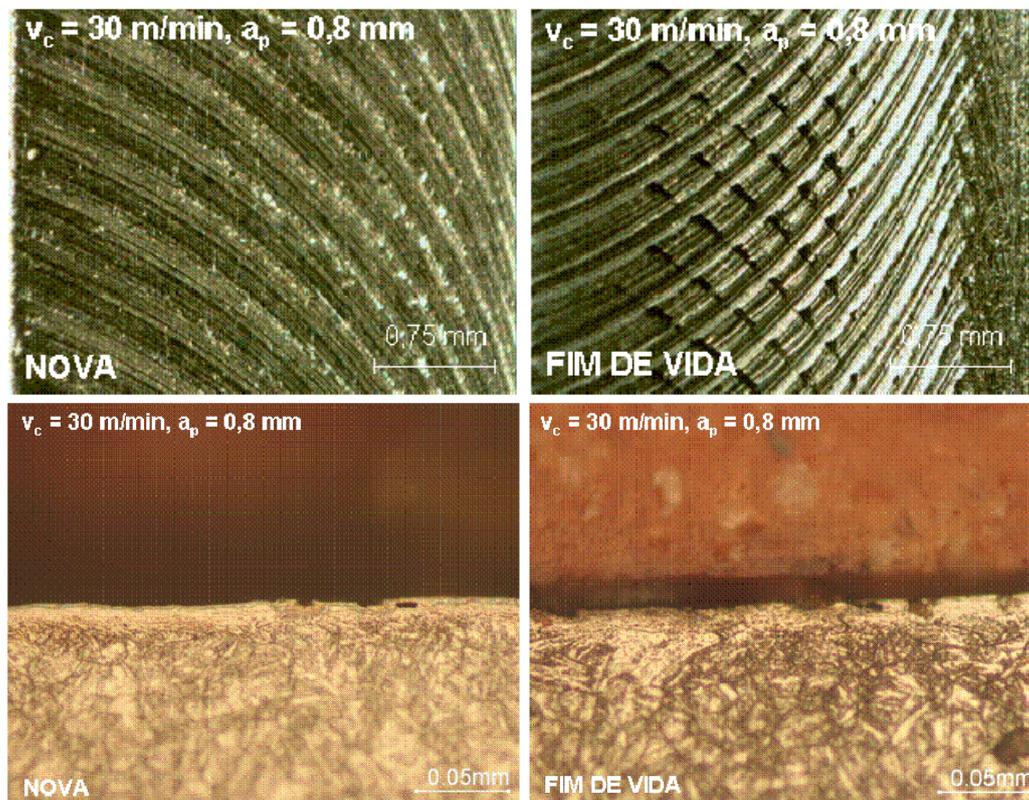


Figura 4. Imagem da textura superficial e metalografia da sub-superfície para ferramenta nova e em estado de fim de vida para velocidade de corte de 30 m/min e uma profundidade de corte axial de 0,8 mm.

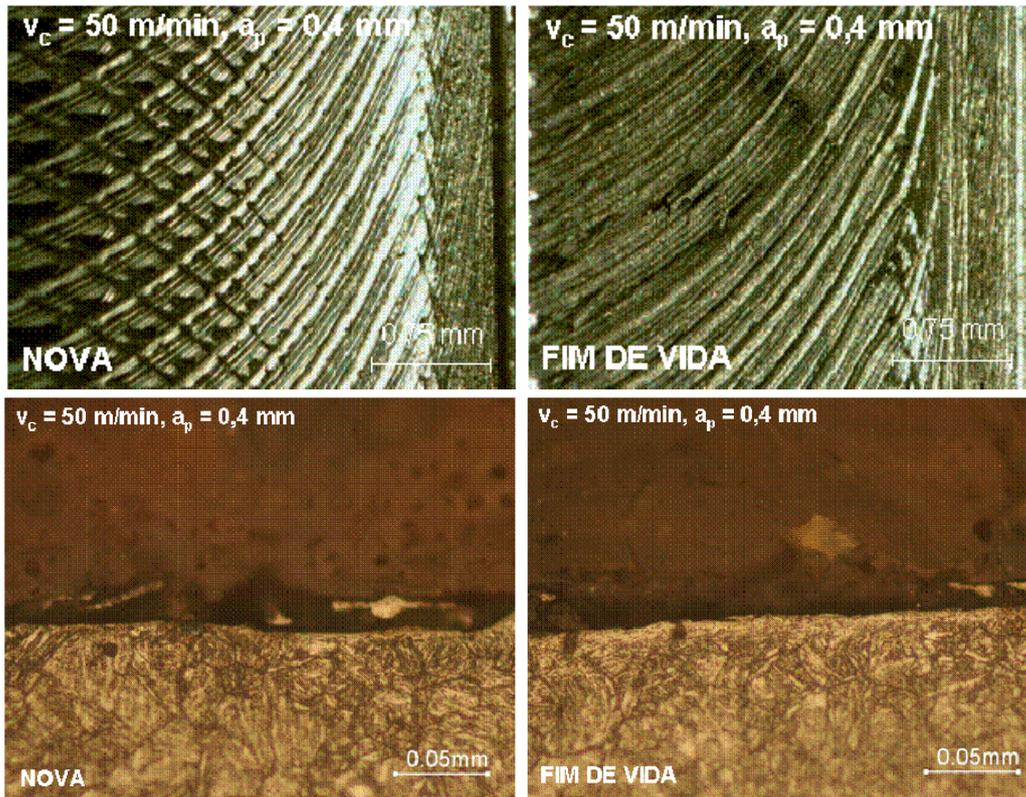


Figura 5. Imagem da textura superficial e metalografia da sub-superfície para ferramenta nova e em estado de fim de vida para velocidade de corte de 50 m/min e uma profundidade de corte axial de 0,4 mm.

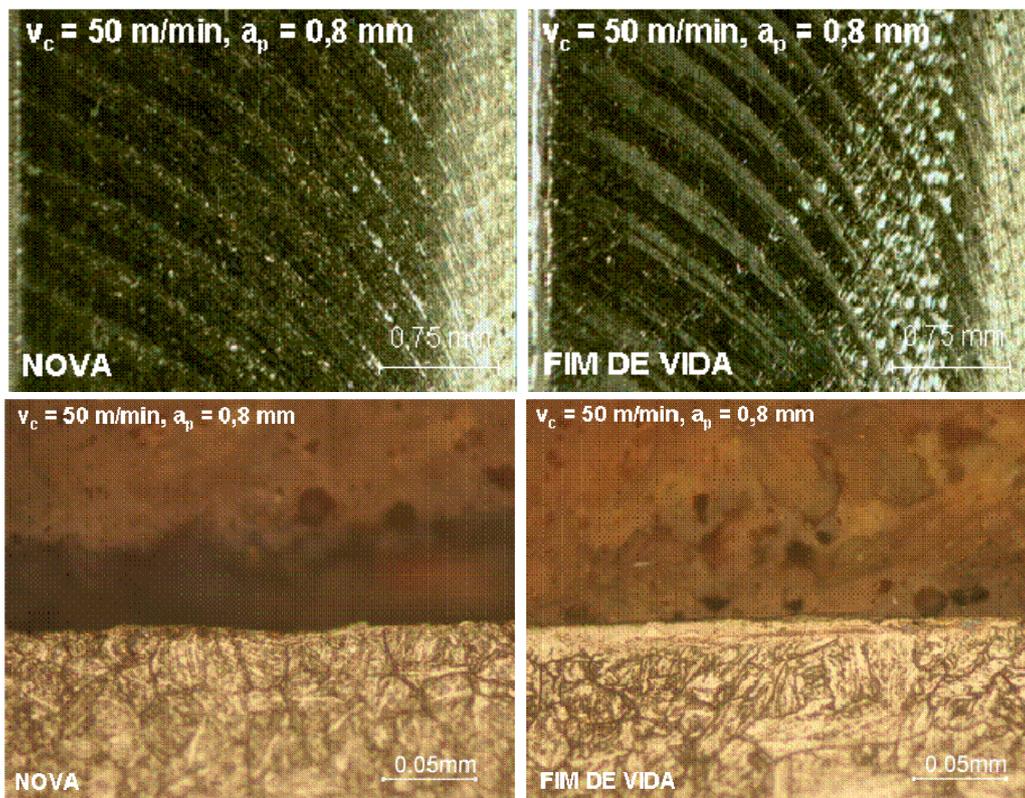


Figura 6. Imagem da textura superficial e metalografia da sub-superfície para ferramenta nova e em estado de fim de vida para velocidade de corte de 50 m/min e uma profundidade de corte axial de 0,8 mm.

4.DISSCUSSÃO

Para a profundidade axial de corte de 0,8 mm os parâmetros mais influentes sobre a deformação plástica encontrada foram a velocidade de corte e o estado da ferramenta de corte. Pois, as deformações plásticas são maiores para $v_c = 30$ m/min se comparadas a $v_c = 50$ m/min, e maiores para a ferramenta em estado de fim de vida, figura 2. Este fato pode estar relacionado ao maior fluxo de temperatura para a peça em velocidades de corte mais baixas, e também ao fato de que, com o desgaste de flanco, o gume da fresa perde sua geometria de corte, o que gera maiores solicitações térmicas e mecânicas.

Já para a profundidade axial de corte de 0,4 mm e ferramenta em estado nova, as maiores deformações plásticas foram observadas para a $v_c = 30$ m/min, se comparadas a $v_c = 50$ m/min, o que valida a teoria de maiores temperaturas na peça. Para a ferramenta em estado de fim de vida as deformações plásticas encontradas para as duas velocidades de corte ensaiadas possuem a tendência de se aproximarem, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 2.

Quando se compara a variação da profundidade axial de corte para uma mesma velocidade, nota-se que as deformações plásticas tendem a ser maiores para as maiores profundidades axiais de corte, o que pode ser explicado pelo aumento significativo da seção de corte e conseqüentemente, pelas maiores temperaturas. Esta maior deformação plástica pode ser observada nas metalografias das sub-superfícies usinadas e mostradas nas Figuras 3 a 6.

5 CONCLUSÃO

Para as rugosidades médias encontradas, a sua dependência maior foi com o estado do gume de corte e com a profundidade axial de corte, quando as ferramentas estavam em estado de fim de vida. Para as ferramentas em fim de vida, os maiores valores de rugosidade foram encontrados para a menor profundidade axial de corte.

Pode-se notar pelos resultados encontrados que a rugosidade, para todas as condições de usinagem, apresenta uma tendência de diminuir seu valor, conforme a fresa atinge seu fim de vida, conforme gráfico da figura 1. Esse fato pode ser justificado pela perda da geometria de corte da ferramenta, tendo como conseqüência um maior atrito da ferramenta com a parede da superfície usinada, resultando em um alisamento desta superfície resultante. Porém, esse menor valor da rugosidade média não necessariamente corresponde a uma melhor qualidade da superfície, visto que as deformações plásticas tiveram uma tendência de aumento conforme a ferramenta se aproxima de seu fim de vida.

Pela análise geral realizada sobre os resultados, nota-se que o valor da rugosidade teve grande influência do estado do gume da fresa. Porém, não é possível afirmar que devido a um menor valor da rugosidade as superfícies geradas possuam um melhor abacamento.

A textura da superfície usinada também teve grande influência do estado do gume de corte, onde para fresas novas pode-se observar ao longo da superfície as marcas uniformes da passagem do gume. Já para as superfícies usinadas com fresas em estado de fim de vida, percebe-se que as marcas de passagem do gume da fresa estão mais irregulares, decorrentes do desgaste da ferramenta.

As deformações plásticas encontradas para as condições de velocidade de corte de 50 m/min e avanços axiais de 0,4 e 0,8 mm e para a velocidade de corte de 30

m/min e um avanço axial de 0,8mm, tiveram uma tendência de aumento com a progressão do desgaste do gume de corte. O que pode ter sido provocado por maiores esforços causado pela alteração da geometria de corte da ferramenta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pelo apoio com bolsa, à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pela colaboração dada ao projeto UsiMold II do Grupo de Usinagem (GUS), e as empresas colaboradoras do projeto: Blaser Swissslube do Brasil, Quimatic Tapmatic, Irwin Industrial Tools do Brasil, pelo fornecimento de seus produtos e suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- 1 Sandvik Coromant 2002, Fabricação de Moldes e Matrizes, Ferramentas e Métodos, C H 02,2, 258p.
- 2 DE MELO, A. C. A., VIANA, R., BARBOSA, F. Q., MACHADO, A. R. Flutuação da temperatura de usinagem durante o fresamento de topo. Revista O mundo da usinagem – Encarte Científico, v. IV, n. 45, p. 6-11, mar. 2008.
- 3 ZEILMANN, R. P., OLIVEIRA, J. M., CALZA, D. C., XAVIER, E. B. Integridade de peças usinadas pelo processo de furação. Revista Máquinas e Metais, Ano XLIV, n. 503, p. 28-38, dez. 2007.
- 4 ARUNACHALAM, R. M., MANNAN, M. A., SPOWAGE, A. C. Surface Integrity when machining age hardened inconel 718 with coated carbide cutting tools. International Journal of Machine and Manufacture 44, 2004 – p1481-1491.
- 5 WEINERT, K. Trockenbearbeitung und Minimalmengenkuehlschmierung. Springer-Verlag. Berlin. 1999.