

# ESTUDO DO DESGASTE EM FRESAS DE AÇO-RÁPIDO E DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL NA USINAGEM DO AÇO AISI P20<sup>1</sup>

Alfredo Tomé<sup>2</sup>  
Diego Carlos Calza<sup>2</sup>  
Marcus Vinicius Ribeiro Braghini<sup>2</sup>  
Rodrigo Panosso Zeilmann<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo um estudo do desgaste em fresas de aço-rápido e, um estudo do comportamento da qualidade da superfície e da sub-superfície do material usinado quando no fresamento de topo reto. Neste estudo foi empregada a metodologia de ensaio de usinagem de longa duração. Os ensaios foram realizados em duas partes: ensaio de vida e ensaio de integridade superficial. O ensaio de vida utilizou critérios de testes de vida de ferramenta, com variação de parâmetros de corte, até um determinado critério de fim de vida, comparando-se também ferramentas revestidas e não revestidas. O ensaio de integridade superficial foi com parâmetros selecionados, em estado de ferramenta nova e em fim de vida. Neste ensaio foram medidas as deformações plásticas e a micro-dureza da variação causada pela usinagem. Os mecanismos de desgaste dependem basicamente das características da ferramenta e da peça, das condições de usinagem e de corte, sendo nestes ensaios os principais tipos encontrados, adesão e abrasão. O ensaio de integridade superficial foi realizado com fresas em estado novo e em fim de vida (apresentando desgaste de flanco máximo  $VB_{\text{máx}} = 0,6$  mm) e constatou-se que o estado em que a ferramenta se encontra tem influencia sobre a integridade superficial das peças usinadas.

**Palavras-chave:** Fresamento; Usinagem à seco; Mecanismos e tipos de desgaste; Deformação plástica.

## STUDY OF WEAR IN HIGH SPEED STEEL MILLS AND SUPERFICIAL INTEGRITY IN MACHINING OF AISI P20 STEEL

### Abstract

This work has as objective a study of wear in high speed steel mills, and a study of the behavior of the quality of surface and sub-surface of the machined material when face milling forwards. This study employed the methodology for testing of machining of long duration. The tests were conducted in two parts: test of tool life and superficial integrity. The test of life used criteria for the tests of life tool. With a range of cutting parameters, to a certain criterion end of life, also comparing coated and non-coated tools. The test of superficial integrity was with selected parameters, in a state of new tools and end of life. In this study were measured the plastic deformation and micro-hardness of the variation caused by machining. The mechanisms of wear depend basically the characteristics of the tool and part, of the machining conditions and cutting, and these trials the main types found, adhesion and abrasion. The test of integrity surface was made with mills in new and end of life states (showing maximum wear of flank  $VB_{\text{max}} = 0.6$  mm) and it was noted that the state in which the tool is has influence on the integrity of the surface machined parts.

**Key-words:** Milling; Dry machining; Mechanisms and types of wear; Plastic deformations.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. Vinculado ao Grupo de Pesquisa "Grupo de Usinagem". E-mail: aftome@hotmail.com; dccalza@ucs.br; marcusbraghini@yahoo.com.br*

<sup>3</sup> *Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: rpzeilma@ucs.br. Coordenador do Grupo de Pesquisa "Grupo de Usinagem"*

## 1 INTRODUÇÃO

O fresamento de topo é uma operação de remoção de material muito usada nas indústrias automotiva, aeronáutica e moldes e matrizes, segmentos nos quais é muito importante garantir a qualidade do acabamento superficial da peça. Apesar de auxiliar na facilitação do 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 avarias, que conduzem a ferramenta de corte rapidamente ao seu fim de vida, além de promover distorções na peça fabricada.<sup>(1)</sup>

O desenvolvimento dos revestimentos permitiu a utilização das ferramentas em situações severas de corte, pois, aplicados de forma correta, aumentam a dureza superficial da ferramenta, e sob condições de elevada temperatura, minimizam o efeito do desgaste abrasivo pela redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e a peça.<sup>(2)</sup>

Tem sido uma preocupação o custo da ferramenta de corte, o que obriga as organizações a utilizarem técnicas para a melhoria da qualidade, para isso este trabalho apresenta um teste da vida da ferramenta com seus respectivos desgastes para que possa ter uma vida útil maior, melhorando a qualidade da superfície.

O desgaste da ferramenta tem grande influência na qualidade superficial, o aumento do atrito entre a ferramenta e o cavaco gera aumentando na força de corte, assim influenciando no processo de deformação plástica da peça. Isto acarreta em uma modificação da microestrutura granular da superfície da peça, alterando rugosidade da superfície da peça.<sup>(3)</sup> Assim pode-se dizer que tanto os efeitos térmicos quanto mecânicos são responsáveis pelas alterações nas características da superfície.<sup>(4)</sup>

Este trabalho teve como objetivo estudar os mecanismos e tipos de desgastes apresentados no fresamento e analisar as alterações da superfície usinada, através da caracterização da integridade do material fresado na usinagem do aço AISI P20 com ferramentas de aço-rápido.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados os ensaios experimentais com a operação de fresamento de topo reto, sendo utilizado corte concordante, corte linear com usinagem à seco. A ferramenta foi fixada com relação comprimento/diâmetro (l/d) de 3,5 mm. O corpo-de-prova de aço AISI P20, com dureza entre 31 a 33 HR<sub>C</sub>, foi fixado a zero grau (0°) em relação à mesa do Centro de Usinagem. A máquina-ferramenta utilizada foi o Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, com rotação máxima no eixo-árvore de 6000 rpm e potência de 7,5 kW.

Para o desenvolvimento dos ensaios utilizaram-se fresas de aço-rápido HSS M2 (DIN 844), de 10 mm de diâmetro. As fresas ensaiadas dividiram-se em sem revestimento e revestidas com *TiN* (nitreto de titânio). Além disso, realizaram-se os ensaios sob condições de corte a seco.

A Tabela 1 mostra os parâmetros de corte utilizados nos ensaios experimentais.

**Tabela 1.** Parâmetros de corte utilizados no ensaio 20/02/2008.

Velocidade de corte $v_c$ [m/min]	Profundidade de corte $a_p$ [mm]	Incremento lateral $a_e$ [mm]	Avanço por gume $f_z$ [mm]
30 e 60	0,4	1/3x d	0,1

Fonte: Grupo de Usinagem.

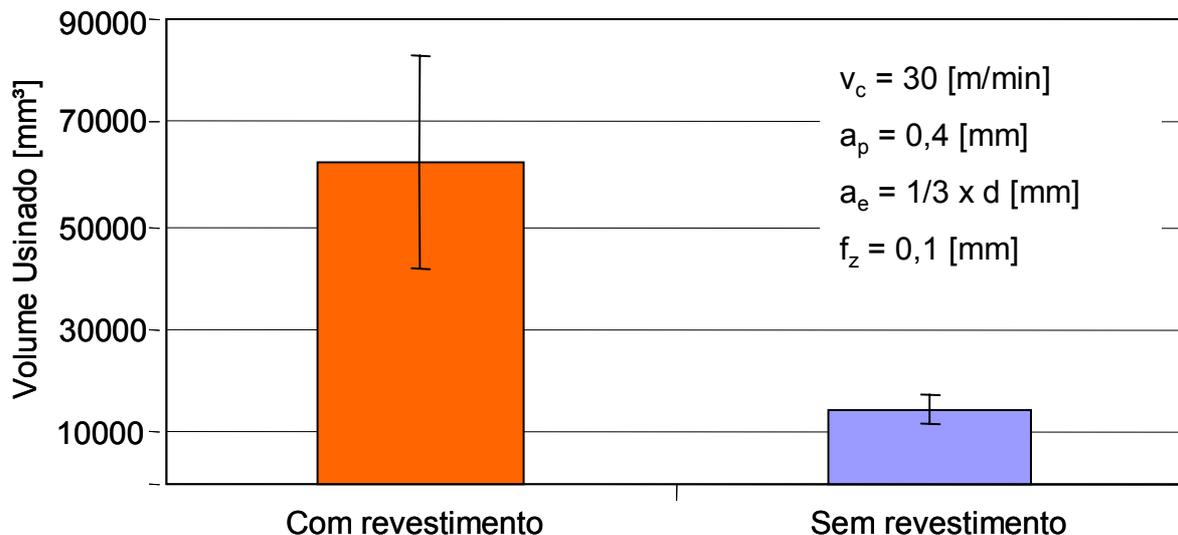
No ensaio de comportamento de desgaste, realizou-se a avaliação das fresas de acordo com o critério de usinabilidade vida da ferramenta. Sendo assim, definiu-se previamente, com base no comportamento do desgaste observado. Os critérios de fim de vida adotados foram  $VB_{máx} = 0,60$  mm e ruído intenso, sendo determinante o que se apresentar primeiro.

Para a análise dos resultados de desgaste foi usado um estereoscópio trinocular de medição universal e para a análise da qualidade superficial e sub-superficial um microscópio metalográfico Nikon Epiphot 200.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos no ensaio, foram realizados os cálculos de tempo, desgaste da ferramenta, volume usinado e deformação plástica.

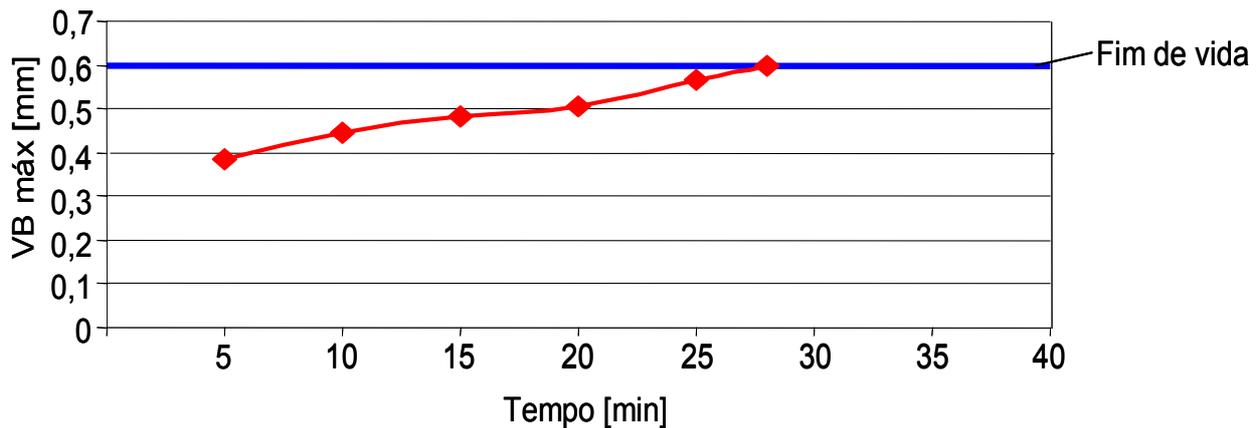
A ferramenta com revestimento obteve um volume usinado três vezes maior que a ferramenta sem revestimento, como mostra a Figura 1.



Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 1.** Gráfico do volume usinado para a ferramenta com revestimento e sem revestimento, respectivamente.

O gráfico com o comportamento de desgaste ao longo do tempo tipicamente apresentado para a ferramenta não revestida para a  $v_c$  de 30 m/min está representado na Figura 2.



Fonte: Grupo de Usinagem.

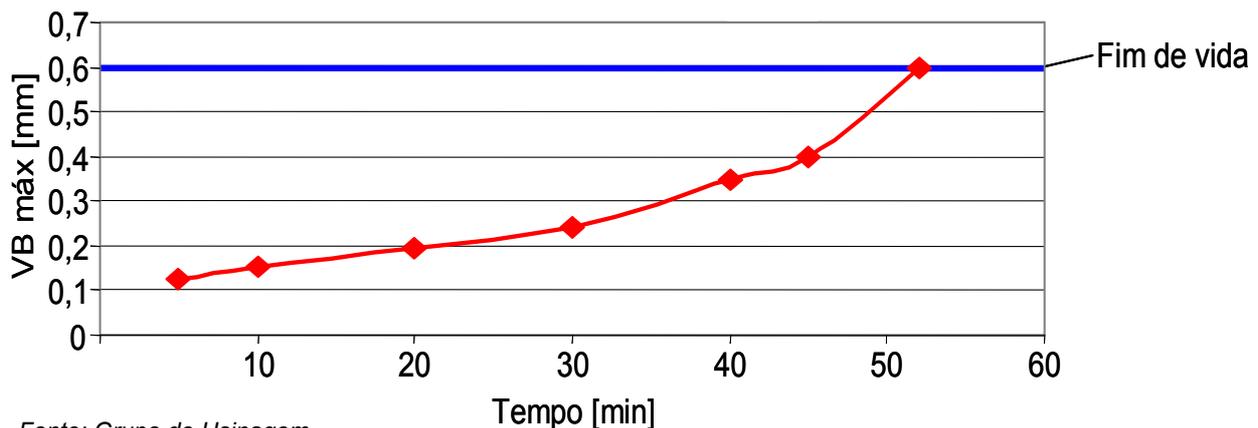
**Figura 2.** Gráfico do desgaste tipicamente apresentado para ferramenta não revestida com  $v_c$  de 30 m/min.

Com o  $VB_{máx}$  de 0,60 mm a ferramenta revestida teve um comportamento de desgaste menos acentuado quando comparado à ferramenta sem revestimento.

A ferramenta revestida demorou aproximadamente 51 minutos para chegar ao critério de fim de vida ( $VB_{máx} = 0,60$  mm), enquanto a ferramenta sem revestimento demorou aproximadamente 28 minutos. Além de apresentar uma vida útil duas vezes maior que a ferramenta sem revestimento, a ferramenta revestida usinou com velocidade de corte duas vezes maior.

Percebe-se que aos cinco minutos de corte das ferramentas, a ferramenta sem revestimento teve um desgaste de 0,40 mm, enquanto a ferramenta revestida obteve 0,10 mm de desgaste de flanco máximo, isto resulta em uma melhor qualidade da superfície usinada.

O gráfico com o comportamento de desgaste ao longo do tempo tipicamente apresentado para a ferramenta revestida para a  $v_c$  de 60 m/min está representada no gráfico da Figura 3.



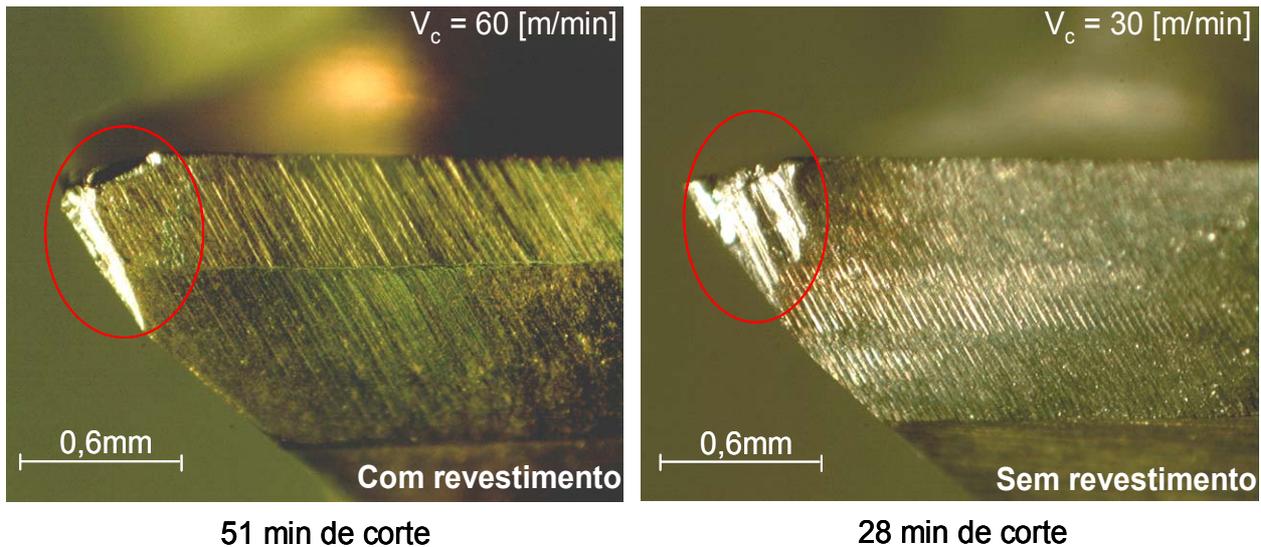
Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 3.** Gráfico do desgaste tipicamente apresentado para ferramenta revestida com  $v_c$  de 60 m/min.

Comparando as Figuras 2 e 3 percebe-se que a curva de desgaste da ferramenta revestida é apresentada dentro de um comportamento típico, começando em 0,10 mm e subindo proporcionalmente. Já para a ferramenta sem revestimento, inicia em 0,40 mm um desgaste muito elevado para o mesmo tempo de corte.

O revestimento tem uma grande importância na vida das ferramentas e pode aumentar aproximadamente de duas a cinco vezes a vida das mesmas. Para estes ensaios, analisando o resultado das ferramentas, pode-se validar que a ferramenta revestida apresentou um melhor comportamento de desgaste em relação à sem revestimento.

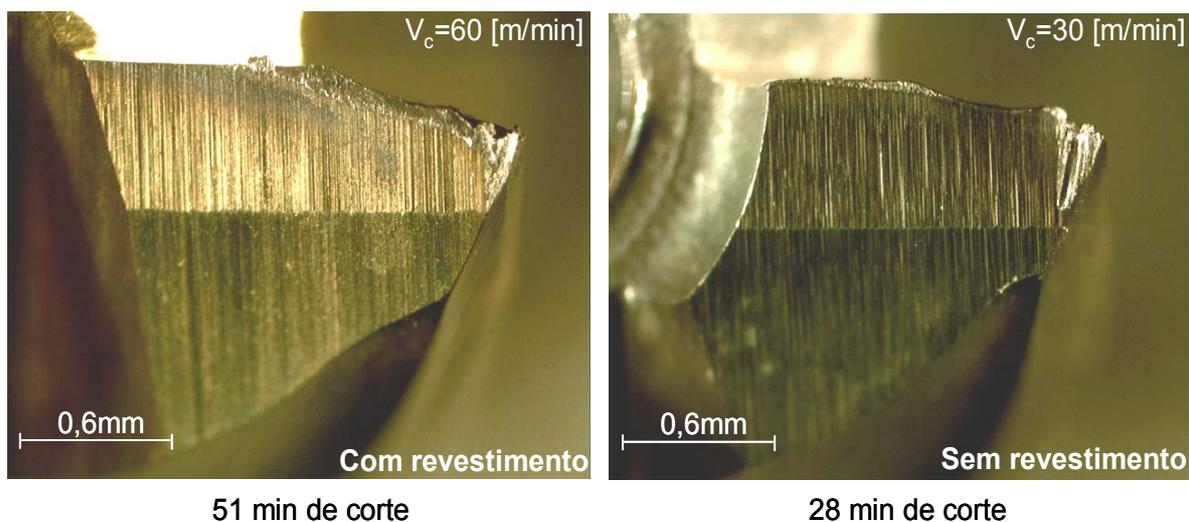
Com o apoio do microscópio óptico foi possível avaliar com maior precisão os desgastes nas ferramentas, possibilitando assim concluir sobre a presença principal dos mecanismos de adesão e abrasão, e tipo desgaste de flanco e micro-lascamentos. As Figuras 4 e 5 mostram fotografias com detalhes do flanco principal e secundário, e os desgastes tipicamente apresentados após a usinagem.



Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 4.** Fotografia com detalhe do flanco principal.

O flanco principal é o ponto onde existem as maiores solicitações, devido a maior velocidade tangencial e severidade térmica. Nas imagens é possível ver o desgaste na quina da ferramenta.



Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 5** – Fotografia com detalhe do flanco secundário.

Normalmente o acabamento superficial melhora com o aumento da velocidade de corte. Os resultados obtidos referentes à qualidade da superfície do material usinado fazem coerência às teorias relatadas pela literatura técnica especializada.<sup>(5)</sup> As tabelas a seguir mostram os valores de rugosidade medidos no ensaio.

Com o aumento da velocidade de corte os valores de rugosidade média (Ra) diminuíram, isto para a ferramenta em seu estado novo.

Com o decorrer do ensaio, o desgaste de flanco das fresas foi aumentando, fazendo com que dificultasse o corte realizado pelas mesmas. Devido a esse elevado desgaste a fresa perde suas características iniciais de corte, prejudicando assim o acabamento da peça usinada, isso é comprovado pelo aumento da rugosidade.

**Tabela 2.** Valores de rugosidade medidos para o estado novo e fim de vida das fresas revestidas.

	$v_c = 30 \text{ m/min}$		$v_c = 60 \text{ m/min}$	
	Nova	Fim de vida	Nova	Fim de vida
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	2,76	3,72	2,4	3,88
Rz [ $\mu\text{m}$ ]	10,6	19	11,7	20
Ry [ $\mu\text{m}$ ]	11,4	26,8	12,6	21,1

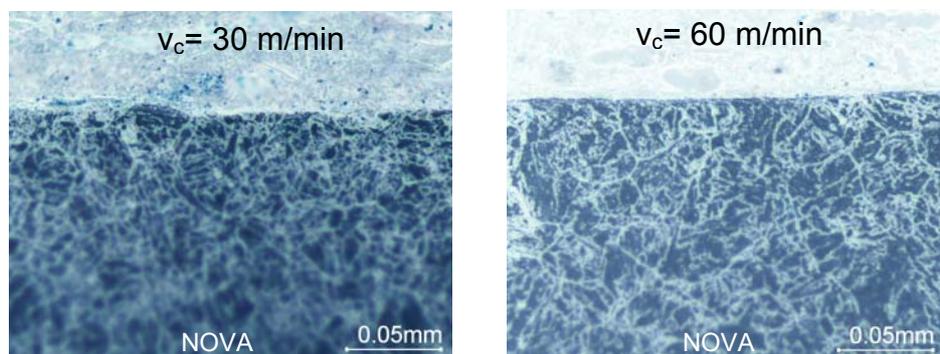
Fonte: Grupo de Usinagem.

**Tabela 3.** Valores de rugosidade medidos para o estado novo e fim de vida das fresas sem revestimento.

	$v_c = 30 \text{ m/min}$	
	Nova	Fim de Vida
Ra (mm)	0,912	1,296
Rq (mm)	1,236	1,652
Rz (mm)	5,54	8,14

Fonte: Grupo de Usinagem

Para medir as deformações, foram feitas análises metalográficas com amostras das partes fresadas nas diferentes condições da usinagem. Assim encontrou-se o resultado esperado para as fresas novas de ambas as velocidades. As deformações plásticas (Figura 6) não foram significativas, ou seja, os valores encontrados mostram que as fresas não afetaram significativamente a superfície nem a sub-superfície do material. Esses valores estão na média de 1 a 3  $\mu\text{m}$ , para  $v_c$  de 60 m/min e de 30 m/min, respectivamente.

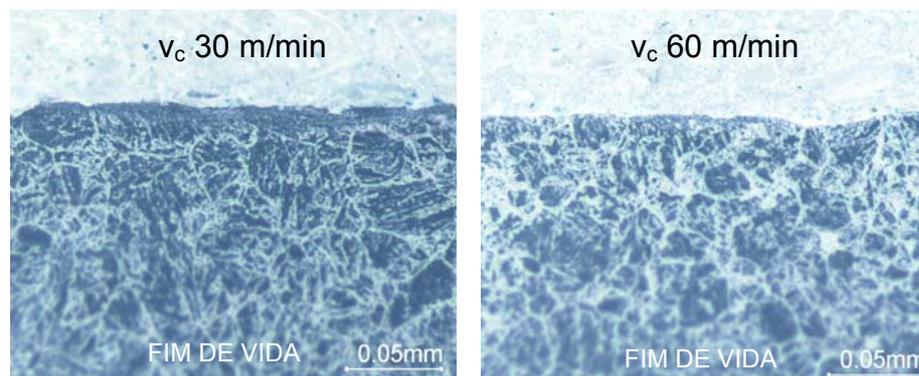


Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 6.** Imagem das deformações com ferramentas revestidas novas.

Com as ferramentas em fim de vida, com um  $VB_{\text{máx}}$  de 0,6 mm, as deformações medidas foram significativas. Isso porque a usinagem com ferramenta desgastada

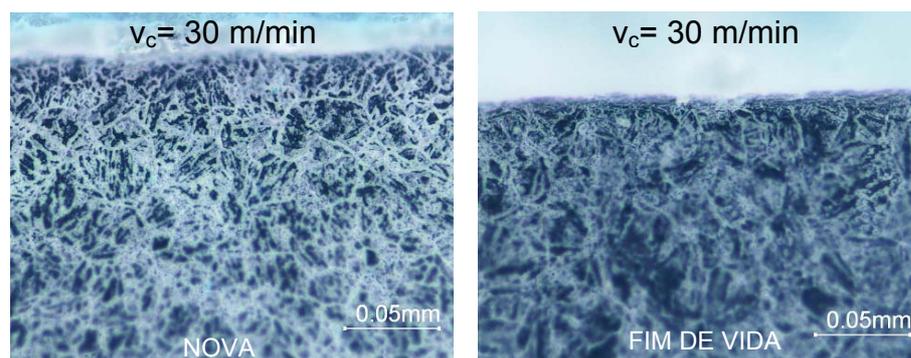
resulta em grande alteração do corte, da condição térmica, e conseqüentemente das características das superfícies e sub-superfícies fresadas. Na usinagem com velocidade de corte de 60 m/min, a qualidade superficial da peça foi melhor, porque a velocidade de corte influencia na geração das superfícies e nas temperaturas do processo. A geração de calor para a velocidade de corte de 30 m/min é menor, mas a  $v_c$  60 m/min produz mais cavaco e assim dissipa uma maior parcela do calor gerado na usinagem. Isso é comprovado pelos valores obtidos para velocidade de 30 m/min, aonde a deformação máxima chegou a 18  $\mu\text{m}$ , enquanto a maior deformação encontrada para a  $v_c$  60 m/min foi de 16  $\mu\text{m}$ . A Figura 7 mostra imagens destas deformações plásticas tipicamente encontradas.



Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 7.** Imagem das deformações com ferramentas revestidas em fim de vida.

Para as ferramentas sem revestimento, em estado novo e em fim de vida (Figura 8), com velocidade de corte de 30 m/min, as deformações obtidas foram de 3  $\mu\text{m}$  e 17  $\mu\text{m}$ , respectivamente. A deformação plástica gerada na peça pela fresa em estado novo sem revestimento foi maior do que as revestidas no mesmo estado. Já em fim de vida a deformação foi equivalente a ferramenta em fim de vida, para velocidade de corte de 30 m/min.



Fonte: Grupo de Usinagem.

**Figura 8.** Imagem das deformações com ferramentas novas e em fim de vida, sem revestimento.

#### 4 CONCLUSÃO

A velocidade de corte e a presença de revestimento exerce influência significativa sobre a vida da ferramenta.

A ferramenta revestida com nitreto de titânio (TiN) apresentou o melhor resultado de vida de ferramenta.

Foram observados principalmente mecanismos de abrasão e adesão, sendo o desgaste de flanco e micro-lascamento os predominantes.

Verificou-se a aderência de material sobre o gume e sobre a ponta das ferramentas. As melhores medições de rugosidade foram para as ferramentas novas com ambas as velocidades de corte. Isto mostra que conforme a fresa sofre desgaste, a sua superfície tem seu acabamento prejudicado.

As peças fresadas com ferramentas novas apresentaram melhores superfícies e sub-superfícies geradas por um corte com menor severidade térmica.

A usinagem com ferramenta desgastada resulta em grande alteração do corte e das características das superfícies e sub-superfícies fresadas. Na usinagem com velocidade de corte de 60 m/min, a qualidade superficial da peça foi melhor, porque a velocidade de corte influencia na geração das superfícies e nas temperaturas do processo.

### **Agradecimentos**

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

### **REFERÊNCIAS**

- 1 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.
- 2 GU, J.; BARBER, G., TUNG, S., GU, R. Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts. Wear, p. 273-284, 1999.
- 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 HIOKI, D. 2006. Influência dos parâmetros de corte do fresamento HSM sobre o desempenho tribológico do aço AISI H13 endurecido. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- 5 STEMMER, C. E. Ferramentas de corte. 6.ed. Florianópolis: UFSC, 2005.