



## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE DESGASTE PARA DIFERENTES FERRAMENTAS COM DIFERENTES REVESTIMENTOS

**Walter L. Weingaertner, Rodrigo P. Zeilmann**

Laboratório de Mecânica de Precisão  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário - Trindade - EMC  
Caixa Postal: 476 - Florianópolis - SC - Brasil  
CEP: 88.040-900  
E-mail: [imp@imp.ufsc.br](mailto:imp@imp.ufsc.br)

**Luis C. Fontana**

Centro de Ciências Tecnológicas  
Faculdade de Engenharia de Joinville  
Universidade do Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina  
Campus Universitário Avelino Marcante - Bairro Bom Retiro  
C. Postal 631 – Joinville - SC - Brasil  
CEP: 89223-100

**Resumo.** *Este trabalho tem como objetivo fornecer informações sobre o desempenho de diferentes ferramentas de corte em ensaios de usinabilidade, na operação de torneamento externo longitudinal cilíndrico. Nos ensaios realizados são averiguados o comportamento das curvas de desgaste para ferramentas de corte com diferentes revestimentos. As ferramentas utilizadas são: ferramentas revestidas comercialmente (RC) (SPUN 12 04 08, com três camadas de revestimento e espessura aproximada de 12  $\mu\text{m}$ ), ferramentas revestidas na UFSC (RU) (SPUN 12 04 04 classe HIP K10 com espessura de revestimento de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ ) e ferramentas não-revestidas (NR) (SPUN 12 04 04 HIP K10). Na UFSC as ferramentas foram revestidas pelo processo de deposição física de vapor (PVD) "Triodo-Magnetron-Sputtering". Este processo apresenta altas taxas de deposição de revestimento, é um sistema pouco poluente e garante boa aderência do revestimento ao substrato. O material utilizado foi o aço inoxidável austenítico SAE 316. Para a realização dos ensaios foi utilizado um torno CNC Romi Mazak Cosmos 10 U.*

**Palavras-chave:** *Metal-duro, Torneamento, Revestimento.*

### 1. INTRODUÇÃO

Há aproximadamente 12 a 50 mil anos o homem vem trabalhando com ferramentas (König, 1990). Estas inicialmente eram de pedra e possuíam seus gumes afiados por lascamentos, possibilitando que o homem as utilizasse para cortes gerais, para a caça e para a

sua autodefesa. Deve-se considerar que o conceito de ferramenta mecânica é amplo, podendo ser um simples machado que o lenhador utiliza para a sua sobrevivência, uma faca, um conjunto como o arado ou até uma ferramenta de diamante para a usinagem de lentes anesféricas. Percebe-se que as ferramentas possuem um grande campo de atuação em grandes áreas de aplicação.

A Revolução Industrial, marco social das mudanças de condições de trabalho da humanidade, trouxe a exigência de ferramentas que pudessem dar suporte à fabricação produtiva e econômica de bens de consumo, fazendo com que o homem aprimorasse as ferramentas até então existentes.

Em 1900, durante a Exposição Mundial de Paris, Taylor apresentou a ferramenta de aço-rápido (HSS), que representou um aumento na qualidade em relação às ferramentas até então existentes. Em 1927, a empresa Krupp fez sucesso com o lançamento do seu produto Widia (Wie Diamant - como diamante), obtido pela metalurgia do pó (Zeilmann, 1997).

Durante as Guerras Mundiais, devido a corrida armamentista, os países buscaram novas ferramentas e aperfeiçoamentos que resultaram em linhas de pesquisa e empresas especializadas na fabricação de ferramentas.

A tecnologia de desenvolvimento de ferramentas de corte busca cada vez mais um limiar que lhes dê uma vida de ferramenta econômica com as máximas condições de trabalho e uma melhor associação das propriedades mecânicas exigidas.

Este trabalho tem por objetivo analisar as ferramentas (de metal-duro) H1P K10 revestida com uma camada de TiN por “Tríodo-Magnetron-Sputtering”, GC 415 revestida comercialmente com três camadas de revestimento e H1P K10 não revestida.

Para esta análise comparativa são realizados ensaios de usinabilidade de torneamento externo longitudinal cilíndrico. Para tanto, são fornecidas informações a respeito do comportamento das curvas de desgaste de flanco médio (VB) das ferramentas de corte (Zeilmann, 1997).

## 2. SISTEMA DE DEPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO

Com o objetivo de avaliar as características do processo de deposição física por vapor “Tríodo-Magnetron-Sputtering” em desenvolvimento na Divisão de Plasma do Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC foram revestidas ferramentas de metal-duro com filmes de TiN. A deposição dos filmes de revestimento foi realizada em um reator experimental de “Tríodo-Magnetron-Sputtering”, mostrado na “Figura 1”.

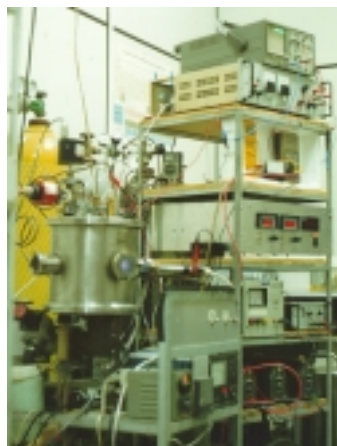


Figura 1 - Reator de deposição por “Tríodo-Magnetron-Sputtering” (Fontana, 1997; Zeilmann, 1997)

As ferramentas revestidas foram visualizadas ao microscópio óptico para avaliar o revestimento depositado. Para se ter um melhor entendimento das características de recobrimento do revestimento sobre o substrato, algumas ferramentas foram avaliadas no Microscópio Eletrônico de Varredura e, com isso, foi possível identificar e visualizar regiões das ferramentas de corte sem revestimento. As ferramentas que apresentaram problemas de revestimentos foram separadas dos ensaios de usinagem.

A deposição reativa de TiN foi obtida através de um bombardeio de átomos de Ti sobre um substrato (insertos), em um meio de um gás reativo, o  $N_2$ , formando na superfície do substrato de metal duro revestimento de TiN. Este depósito gera muitas tensões internas, pois nem todos os átomos de Ti na superfície do alvo conseguem reagir com o nitrogênio, formando um filme de TiN “puro”, sendo formada uma mistura de TiN mais Ti. Além disto o TiN não possui uma boa aderência com o substrato.

A espessura do revestimento obtido pela deposição reativa (UFSC) foi em torno de 2,4  $\mu m$ , tendo este uma variação de até 1  $\mu m$ . A “Figura 2” mostra o revestimento analisado em um Microscópio Óptico.

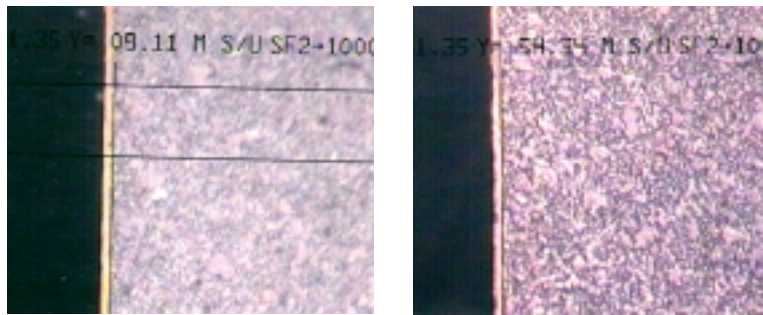


Figura 2 - Micrografia da ferramenta H1P K10 revestida na UFSC (Sandvik, 1997; Zeilmann, 1997)

### 3. METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Nos ensaios de usinabilidade de longa duração foi determinado o desempenho das ferramentas no torneamento externo longitudinal. Foram obtidas informações sobre o comportamento de desgaste das ferramentas e os resultados são expressos na forma de gráficos de evolução do desgaste de flanco médio VB ao longo do tempo de corte t.

#### 3.1. Determinação dos parâmetros de usinagem

As condições de corte adotadas foram de desbaste leve, a fim de obter-se um desgaste acelerado da ferramenta sem o comprometimento dos resultados. As velocidades de corte utilizadas foram de 240 m/min, 270 m/min e 300 m/min, seguindo a série geométrica R20. A profundidade de corte de 1,5 mm e o avanço de 0,16 mm, para o raio de quina da ferramenta de corte de 0,8 mm, estão em conformidade com a norma ISO (ISO 3685, 1977).

Para garantir uma solicitação mais severa da ferramenta de corte e reduzir os tempos de ensaio, foi optado pelo corte a seco .

#### 3.2. Dimensões dos corpos de prova

As dimensões iniciais dos corpos de prova foram estabelecidas pela capacidade da máquina-ferramenta e da matéria-prima fornecida. As dimensões finais dos corpos de prova

foram limitadas pela rotação máxima da máquina-ferramenta para as velocidades de corte estabelecidas e pelo surgimento de vibrações regenerativas na superfície do corpo de prova. Os corpos de prova foram fixos entre placa e contra-ponta rotativa, conforme mostrado esquematicamente na “Figura 3”.

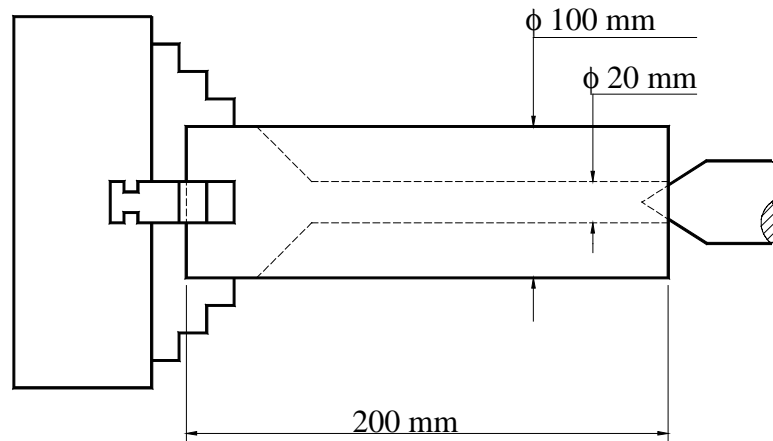


Figura 3 - Fixação do corpo de prova (Zeilmann, 1997)

Os corpos de prova foram pré-usinados para a remoção das superfícies brutas de laminação e outras irregularidades.

### 3.3. Metodologia do ensaio

Foi estabelecida uma estrutura organizacional para planejar, acompanhar e desenvolver os ensaios. Foram preparadas folhas de registro de dados e observações que fossem úteis para posterior análise dos dados e cada folha de registro de dados foi numerada e continha uma combinação de parâmetros para um determinado gume da ferramenta.

O porta-ferramentas foi mantido sempre montado na máquina ferramenta, sendo somente a pastilha removida para medição de desgaste. Ao retornar o inserto da medição de desgaste era executada uma limpeza criteriosa do seu assento, garantindo um posicionamento adequado do inserto sobre o mesmo.

Para os ensaios foi escrito um programa CNC paramétrico permitindo a execução dos ciclos de usinagem, em que o operador fornecia os dados de corte pelo teclado do comando.

Para o fim de vida do gume da ferramenta de corte adotou-se um desgaste de flanco médio  $VB_{MÉD}$  de 0,3 mm ou a quebra da quina da ferramenta.

As medições de desgaste foram realizadas de acordo com intervalos de tempos pré-estabelecidos para cada tipo de ferramenta, devido aos tempos de vida serem distintos, principalmente entre as ferramentas revestidas e não revestida.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados dos ensaios estão mostrados nas “Figuras 4, 5 e 6”, na forma de gráficos de comportamento de desgaste. Estes gráficos estão expostos na forma de repetições e para cada gráfico apresentado, são mostradas três curvas (repetições 1, 2 e 3). Não foi possível expressar uma curva média das três, devido a apresentarem distintos comportamentos e quebra em algumas curvas. A quebra da quina está representada por um “x” no fim da curva. Para cada

gráfico está identificado qual é a ferramenta, pela simbologia: revestida comercial (RC), revestida na universidade (RU) e não-revestida (NR).

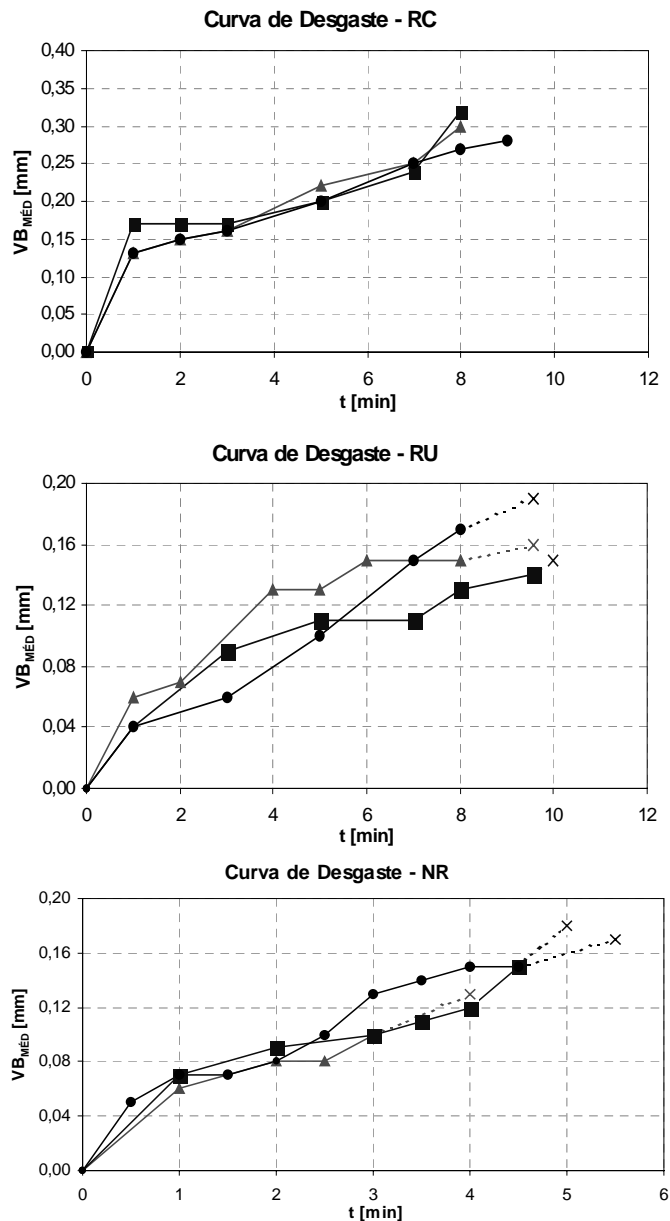
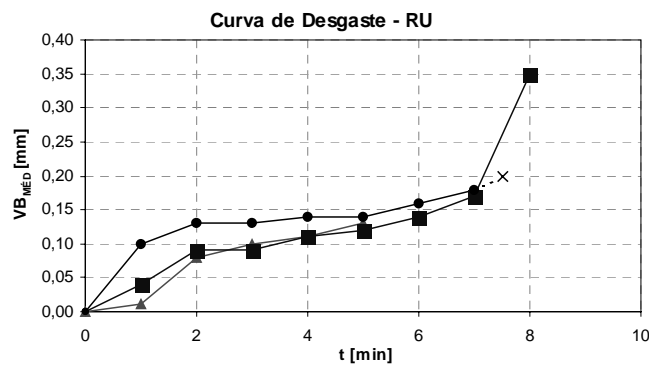
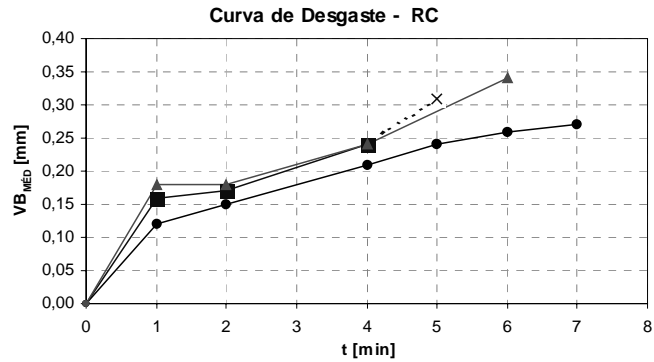


Figura 4 - Comportamento de desgaste para  $v_c = 240$  m/min (Zeilmann, 1997)

Para a velocidade de corte de 240 m/min as ferramentas H1P K10 não revestidas (NR – não revestidas) alcançaram uma vida inferior a 5 minutos. Para esta condição as ferramentas sofreram a quebra da quina antes de alcançarem o critério de fim de vida.

As ferramentas GC 415 (RC – revestidas comerciais) alcançaram uma vida em torno de 8 minutos e alcançaram o critério de fim de vida,  $VB_{MÉD} = 0,3$  mm sem quebras.

As ferramentas H1P K10 revestidas na UFSC (RU) alcançaram uma vida em torno de 8 minutos. Nesta condição as ferramentas apresentaram a quebra da quina antes de ser alcançado o critério de fim de vida.



$v_c$ : 270 m/min  
 $f$ : 0,16 mm  
 $a_p$ : 1,5 mm

1 1ª Repetição  
 5 2ª Repetição  
 1 3ª Repetição

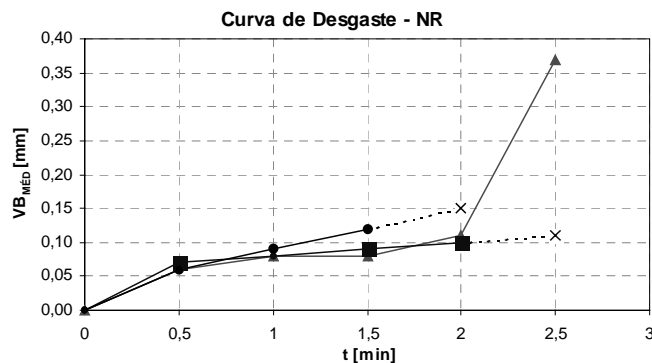
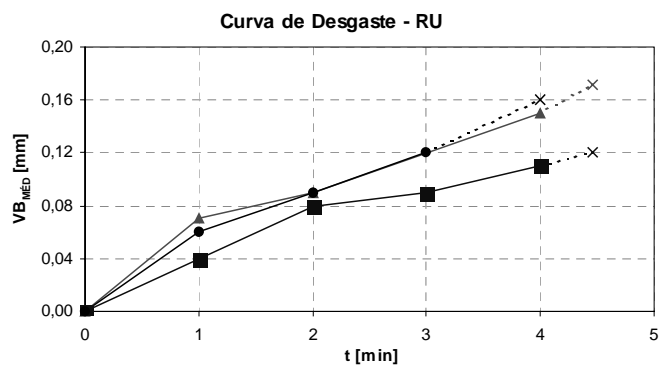
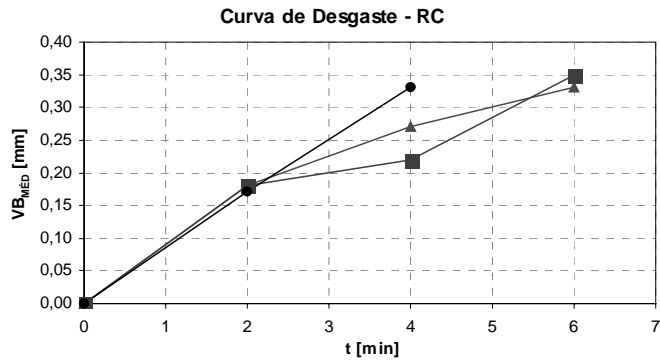


Figura 5 - Comportamento de desgaste para  $v_c = 270$  m/min (Zeilmann, 1997)

Para a velocidade de corte de 270 m/min as ferramentas H1P K10 não revestidas (NR) alcançaram uma vida inferior a 3 minutos e apresentaram a quebra da quina antes de alcançarem o critério de fim de vida,  $VB_{MÉD} = 0,3$  mm em dois ensaios. Na terceira ferramenta foi verificado um desgaste hiperproporcional, a partir de um minuto de corte, aumentando o desgaste  $VB_{MÉD}$  de 0,11 mm até 0,37 mm em menos de 1 minuto de.

As ferramentas GC 415 (RC) alcançaram uma vida em torno de 6 min. Para esta condição as ferramentas alcançaram o critério de fim de vida,  $VB_{MÉD} = 0,3$  mm, em dois ensaios. Para um ensaio, a ferramenta apresentou a quebra da quina antes de ser detectado o critério de fim de vida por desgaste de flanco.

As ferramentas H1P K10 revestidas na UFSC alcançaram uma vida em torno de 6 minutos. Para esta condição as ferramentas apresentaram a quebra da quina antes de ser alcançado o critério de fim de vida em dois ensaios.



$v_c$ : 300 m/min  
 $f$ : 0,16 mm  
 $a_p$ : 1,5 mm

1 1ª Repetição  
 5 2ª Repetição  
 1 3ª Repetição

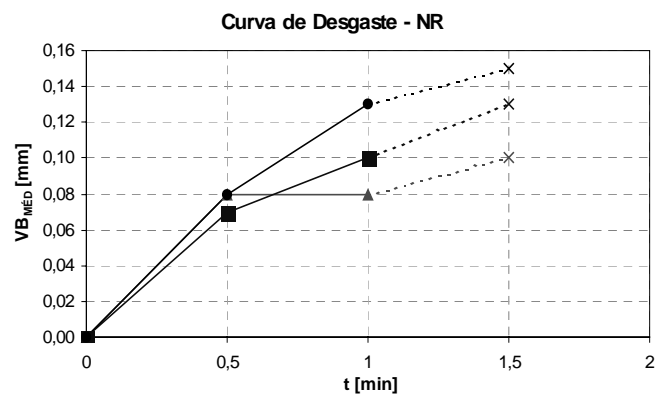


Figura 6 - Comportamento de desgaste para  $v_c = 300$  m/min (Zeilmann, 1997)

Para a velocidade de corte de 300 m/min as ferramentas H1P K10 não revestidas (NR) atingiram um tempo de vida inferior a 2 minutos. Para esta condição as ferramentas sofreram a quebra da quina antes de alcançarem o critério de fim de vida.

As ferramentas GC 415 (RC) alcançaram o critério de desgaste de  $VB_{MÉD} = 0,3$  mm para uma vida entre 4 e 6 minutos.

As ferramentas revestidas na UFSC não alcançaram o critério de desgaste e quebraram para tempos de corte entre 4 e 4,5 minutos.

As ferramentas de metal-duro ensaiadas apresentam um comportamento de desgaste típico de 3 fases. Estabilização do gume em torno de  $VB_{MÉD} \approx 0,15$  a  $0,20$  mm, desgaste linear até  $VB_{MÉD} \approx 0,25$  mm e hiperproporcional para  $VB > 0,25$  mm. Com o aumento da velocidade de corte a regia de desgaste linear se torna menor, passando de forma contínua da estabilização para o desgaste hiperproporcional. Mesmo assim todas as ferramentas.

#### 4. CONCLUSÕES

As ferramentas revestidas na UFSC apresentaram a quebra de suas quinas, com exceção de um ensaio, para a  $v_c$  de 270 m/min. Nas curvas de desgaste percebe-se apenas um patamar que pode estar relacionado à única camada de revestimento. Em termos de tempo de corte, desconsiderando-se o desgaste de flanco médio estabelecido como critério de fim de vida, a ferramenta teve um comportamento semelhante à GC 415.

Para a velocidade de corte de 240 m/min, a estabilização do gume da ferramenta GC 415 ocorre com um maior desgaste para o tempo de corte de 1 min, fazendo com que o patamar de desgaste desta ferramenta seja acima das outras. A ferramenta H1P K10 não revestida, alcançou um tempo inferior a 5 minutos, enquanto que as ferramentas revestidas atingiram aproximadamente o mesmo tempo de vida. A ferramenta GC 415 alcançou o critério de desgaste de  $VB_{MÉD} = 0,3$  mm de desgaste de flanco e a revestida na UFSC teve a quebra da quina de corte da ferramenta.

Para a velocidade de corte de 270 m/min, percebe-se que a partir de um determinado tempo de corte algumas ferramentas sofrem um desgaste hiperproporcional, chegando no critério de fim de vida por desgaste antes de haver a quebra da quina da ferramenta. Para esta velocidade de corte percebe-se novamente que o patamar da curva de desgaste da ferramenta GC 415 é superior à da revestida na UFSC.

Para a velocidade de corte de 300 m/min, o patamar de comportamento de desgaste da ferramenta GC 415 mostrou-se superior à ferramenta revestida na UFSC, e em alguns pontos das curvas de desgaste chegou a ser duas vezes maior. Para um tempo de corte de 3 minutos, por exemplo, o desgaste de flanco médio VB da ferramenta GC 415 foi de aproximadamente 0,25 mm, enquanto que da ferramenta revestida na UFSC foi de aproximadamente 0,10 mm.

Com base nos gráficos de comportamento do desgaste de flanco médio, percebe-se que para as velocidades de corte usadas no ensaio, a ferramenta H1P K10 não revestida não suportou às altas velocidades de corte e sua vida foi bem inferior à das outras ferramentas revestidas, chegando a ter uma vida inferior à metade das outras ferramentas.

Houve uma diferenciação visível, na qual a ferramenta revestida na UFSC manteve os patamares das curvas de comportamento de desgaste de flanco médio abaixo das curvas da ferramenta GC 415. Isto significa que para um determinado tempo de corte a ferramenta revestida na UFSC manteve sempre um menor desgaste de flanco médio. Isto pode ser em razão de uma melhor microestrutura do revestimento de TiN depositado na UFSC, mesmo este revestimento depositado na UFSC possuindo aproximadamente 2,4  $\mu\text{m}$  de espessura e uma camada única de revestimento, enquanto que a ferramenta GC 415 possui uma camada tripla de revestimento com uma espessura aproximadamente de 12  $\mu\text{m}$  (Zeilmann, 1997).

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Laboratório de Plasma do Departamento de Física da UFSC, e o apoio financeiro da CAPES para realização de pesquisas apresentadas neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- International Organization for Standardization. Tool-Life Testing with Single Point Turning Tools. ISO 3685. Switzerland, 1977.
- König, W. Fertigungsverfahren: Drehen, Fraesen, Bohren. Dusseldorf. VDI-Verlag, Band 1, 1990.



Zeilmann, R. P. Análise do Comportamento de Desgaste para Ferramentas de metal-Duro K10 Revestidas pelo Processo Físico de Deposição no Ensaio de Torneamento. Florianópolis, UFSC, Dissertação de Mestrado, outubro, 1997, 92p.

Fontana, L. C., 1997, “Estudo da Deposição de Filmes de Ti e TiN e Desenvolvimento do Sistema Modificado “Triodo-Magnetron-Sputtering””, Florianópolis, UFSC, Tese de Doutorado.

NN, 1997, “Resultado de Ensaios Realizados na Empresa Sandvik do Brasil”.

## **ANALYSIS OF TOOL WEAR FOR COATEDS CARBIDES**

**Abstract.** *The continual progress in the manufacturing industries requires research and developments for efficient metal cutting that can satisfy the need of work in the industry. Based in this need, the work does the analysis between the coated and uncoated carbide for turning austenitic stainless steel SAE 316. In this work are made long duration turning tests with: uncoated carbide HIP K10, HIP K10 coated at the Plasma Facilities of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) with a TiN thin film and the commercial coated carbide GC 415 that has three layers. The results show that the metal cutting with the coated carbide at UFSC had practically the same tool life for a established wear life as of the commercial coated carbide.*

**Keys words:** *Carbide; Turning, Coated*