

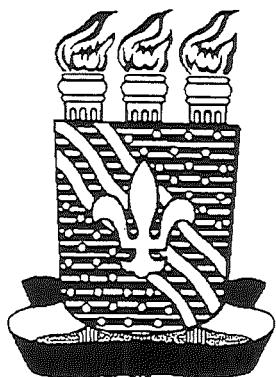
II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica

ANALIS

# PATROCINADORES



## ORGANIZAÇÃO



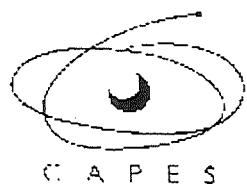
UNIVERSIDADE FEDERAL DA  
PARAÍBA

## PROMOÇÃO



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA  
DE CIÊNCIAS MECÂNICAS  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIAS MECÂNICAS

## APOIO



COORDENAÇÃO DE  
APERFEIÇOAMENTO DE  
PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR



CONSELHO NACIONAL DE  
DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E  
TECNOLÓGICO



FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA



ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE  
PETRÓLEO



PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO  
PESSOA



COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DA  
PARAÍBA



## II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA II NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING

12 a 16 de Agosto de 2002 - João Pessoa - PB

### INVESTIGAÇÃO DO SENSOR DE CORRENTE NA MONITORAÇÃO DO ROSCAMENTO COM ALTA VELOCIDADE

Alexandre Araújo Bezerra

Reginaldo Teixeira Coelho

Aldo Braghini Júnior

USP – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia Mecânica – Av. do Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – CEP: 13566 590 – Fone: 0xx16 273 9438 – Fax: 0xx16 273 9214 – E-mail: aab@sc.usp.br, rtcoelho@sc.usp.br e aldobj@sc.usp.br.

Leonardo Roberto Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Av. Amazonas, 5253 – Nova Suíça – Belo Horizonte – MG – CEP: 30410 000 – E-mail: lrsilva@sc.usp.br.

Marcos Soto

Titex Plus Precision Cutting Tools – Sandvik do Brasil S.A. Indústria e Comércio – Av. das Nações Unidas, 21732 – CEP: 04795 914 – São Paulo – SP – E-mail: marcos.soto@sandvik.com.

**Resumo.** Estudou-se a aplicação de sensor de corrente por efeito Hall na monitoração do desenvolvimento de desgaste em ferramentas de corte no processo de roscamento com alta velocidade de corte. A experimentação foi realizada num centro de usinagem horizontal a 60 m/min, na condição a seco, em ferro fundido cinzento GG25. Usou-se três tipos de machos de corte de aço rápido (HSS – High Speed Steel): um comum; e outros dois fabricados por metalurgia do pó (PM – Powder Metallurgy), sendo um revestido com nitreto de titânio alumínio (TiAlN) e outro com carbonitreto de titânio (TiCN). O critério de fim de vida adotado foi o calibre tampão de rosca não passar totalmente na extremidade P. (passa) e/ou passar mais de um filete de rosca completo na extremidade N.P. (não passa) na rosca usinada. O sistema de aquisição de dados consistiu de sensor de corrente por efeito Hall, filtro passa baixa, módulo de entrada e saída de sinais, placa de conversão e aquisição de sinais e computador, que utilizou o software LabView para gerenciar os sinais. Os resultados mostraram que os sinais do sensor de corrente apresentaram informação confiável e relação direta com o crescimento do desgaste.

**Palavras-chave:** roscamento com alta velocidade de corte, desgaste, sensor de corrente.

#### 1. INTRODUÇÃO

Com o advento da usinagem com alta velocidade de corte (HSM – High Speed Machining), intensificou-se o interesse em seu estudo e na sua aplicação dentro dos ambientes industriais e acadêmicos. Tal interesse é justificado pelas grandes vantagens que esta nova tecnologia pode proporcionar (Dewes & Aspinwall, 1997; Schulz, 1997; Andrae, 1999 e Müller & Soto, 1999): altas taxas de remoção de material; redução das forças de corte proporcional ao aumento das velocidades de corte; melhor dissipação do calor do processo de corte; redução do tempo de produção; produção de peças com melhor qualidade superficial e dimensional; custos de fabricação reduzidos; usinagem sem vibrações; e melhoria nos mecanismos de formação de cavaco.

Porém, as condições agressivas do corte impostas pela HSM requerem, na maioria dos casos, o uso de elemento com características lubrificante e refrigerante, no intuito de reduzir o atrito e a

temperatura na interface cavaco/ferramenta e peça/ferramenta, como o fluido de corte, que nem sempre é uma boa solução devido às questões trabalhistas, ambientais e econômicas. O uso de revestimentos em ferramentas de corte, os quais garantem boas condições de trabalho às mesmas melhorando suas propriedades, é uma solução bastante comum no intuito de permitir a usinagem a seco ou com mínima quantidade de lubrificante (MQL).

O revestimento isola a superfície de contato entre a ferramenta e a peça, pois a interação química entre os materiais do cavaco e do revestimento normalmente é bem pequena, reduzindo o atrito e a temperatura na interface cavaco/ferramenta (Müller & Soto, 1999; Gekonde & Subramanian, 2002). Sua aplicação sobre a ferramenta de corte é realizada através dos processos CVD (deposição química a vapor) a 1000°C, acima da temperatura de revenimento dos aços, ou PVD (deposição física a vapor) a 500°C, cuja temperatura não compromete o tratamento térmico do aço rápido (Machado & Silva, 1999 e Yuhara, 2000). Um aspecto negativo relacionado à utilização de ferramentas revestidas é a necessidade da aplicação de um novo revestimento após a reafiação da ferramenta. A Tabela (1) mostra as propriedades dos revestimentos mais usados (Schulz et al, 2000 e Yuhara, 2000). A utilização de sistemas com múltiplas camadas já é bem comum entre os fabricantes de ferramentas de corte. O objetivo desta prática é combinar as características desejáveis de cada tipo de revestimento. A Figura (1) apresenta uma combinação de TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiCN para boas condições de usinagem.

Tabela 1. Propriedades dos revestimentos mais usados.

CAMADA	TiN	TiCN	TiAlN
espessura ( $\mu\text{m}$ )	1 a 5	1 a 5	1 a 5
dureza ( $\text{HV}_{0,05}$ )	2100 a 2600	2700 a 3200	2600 a 3000
coeficiente de atrito	0,4	0,25 a 0,4	0,3 a 0,4
coeficiente de atrito no aço	0,65	0,5	0,6
resistência à oxidação ( $^{\circ}\text{C}$ )	até 450	até 350	até 700
estabilidade térmica ( $^{\circ}\text{C}$ )	550	450	800
coeficiente de transmissão de calor (W/mK)	29	29	-
cor	dourado	lilás	cinza preto

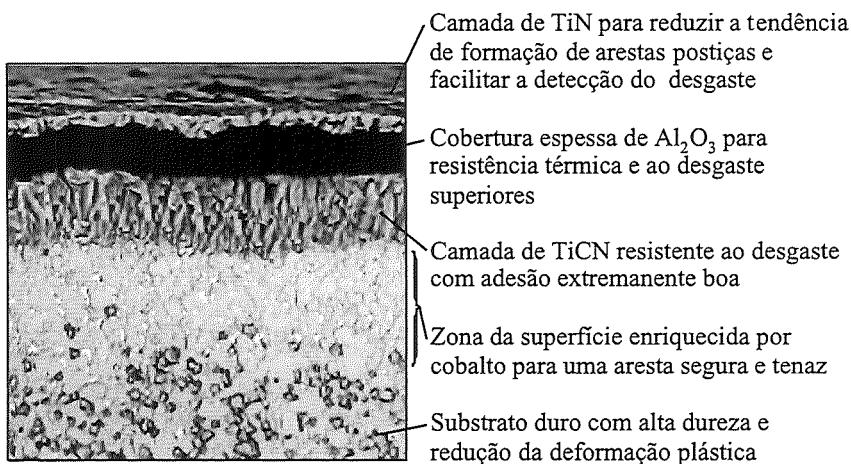


Figura 1. Combinação de revestimentos para boas condições de usinagem (Sandvik, 2000).

Entretanto, o uso de revestimentos em ferramentas de corte por si só não garante um bom desempenho quando se trata de HSM. É necessário ainda que a própria ferramenta de corte possua geometria e substrato adequados, que a máquina-ferramenta propicie estruturas estáveis com boas

características de fixação e de segurança, e que a mão de obra seja especializada e atualizada em relação à fenomenologia e à otimização das condições de corte desta nova tecnologia. Segundo Andrae (1999), o fresamento é o processo de corte que recebeu maior atenção em relação à aplicação da HSM, ao contrário do torneamento, roscamento e furação, os quais observaram-se poucos trabalhos publicados. A Figura (2) mostra faixas de velocidade convencional e com alta velocidade de corte de alguns processos de usinagem.

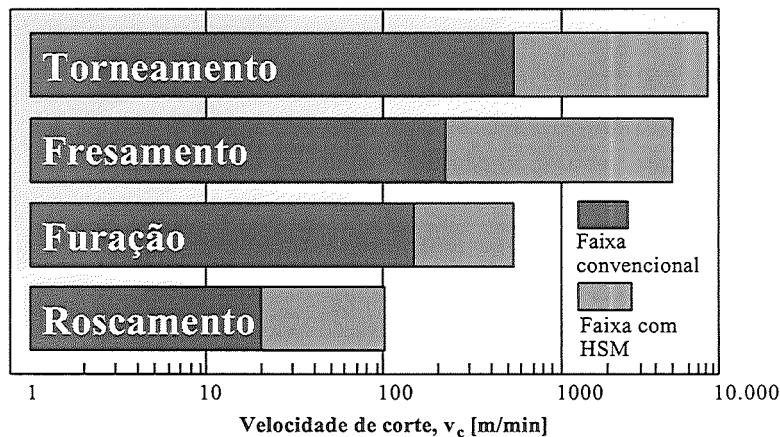


Figura 2. Faixa de velocidades em HSM (Müller & Soto, 1999).

O roscamento interno, utilizando macho de corte (Fig. (3)) ou de conformação, com alta velocidade de corte (HST – High Speed Tapping), ainda pouco difundido, apresenta limitações devido às ferramentas de corte, material e geometria inadequados, às máquinas-ferramenta, velocidades e avanços elevados e rápida reversão da rotação (Müller & Soto, 1999), e ao pouco conhecimento da fenomenologia inerente à aplicação da tecnologia de alta velocidade de corte ao referido processo. Em virtude de tais dificuldades tecnológicas, a velocidade de corte empregada no processo de roscamento dentro das indústrias é relativamente baixa, em torno de 20 m/min. Hoje em dia, máquinas-ferramentas mais modernas e equipamentos de auto-reversão permitem velocidades de corte de até 180 m/min com boa qualidade das roscas usinadas (Agapiou, 1994), dependendo do diâmetro da ferramenta de corte e do material a ser usinado.

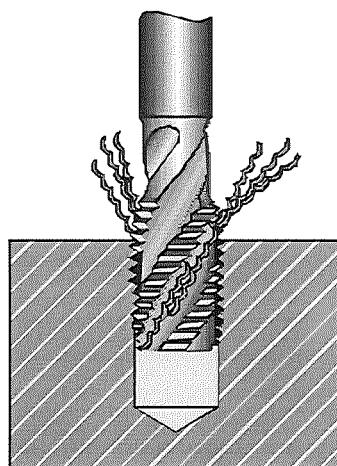


Figura 3. Macho de corte com canais helicoidais usinando furo cego (Müller & Soto, 1999).

Segundo Sha et al (1990), as principais características do processo de roscamento interno com macho de corte são: altamente transiente, pois o ciclo completo é realizado em poucos segundos e pode ser dividido em corte e retorno, no início os dentes executam o corte e o número de arestas em ação aumenta continuamente, praticamente não havendo um período estável; fortemente influenciado pelas operações anteriores, tais como furação, alargamento e chanfrado; e o macho de corte tem normalmente vários canais e sua ponta é cônica ou chanfrada (Fig. (4)), ou seja, a ação de corte é realizada primeiramente pelas arestas da região côncica, fazendo com que o desgaste ocorra principalmente nesta região, e, similar a outros tipos de arestas de corte, este desenvolve-se sobre as superfícies de saída e de folga, dependendo do material da peça e das condições de corte.

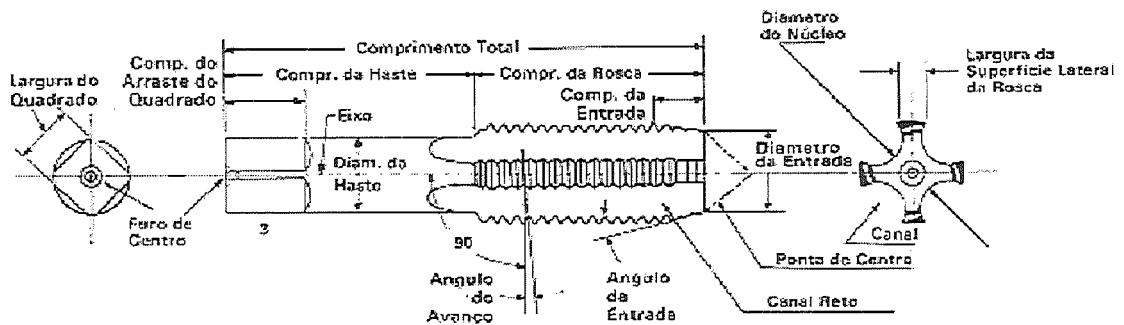


Figura 4. Geometria de macho de corte com canais retos (OSG, 1999).

Devido às características acima, o desgaste de um macho de corte é relativamente difícil de monitorar comparado com os desgastes das ferramentas de torneamento e fresamento. Por esta razão poucos trabalhos de pesquisa têm sido dedicados à monitoração dos processos de roscamento (Sha et al, 1990 e Du et al, 1995), sobretudo no HST. A monitoração do desgaste da ferramenta de corte pode ser direta, onde o desgaste da ferramenta é medido, e indireta, onde mede-se um parâmetro relacionado com o desgaste (Dan & Mathew, 1990). A primeira geralmente é incoveniente por necessitar de uma parada do processo para a realização das medições. Enquanto as medições indiretas são, via de regra, baseadas na monitoração das forças de usinagem, emissão acústica, parâmetros elétricos ou ainda de algum outro parâmetro do processo (Kluft, 1997). Especificamente, a medição de parâmetros elétricos da máquina-ferramenta, de relativo baixo custo, é fundamentada no fato de que a potência elétrica dos motores de acionamento da máquina-ferramenta é diretamente proporcional à potência mecânica gerada pela mesma e reflete as variações de esforços existentes na região de corte. Os sensores de efeito Hall têm sido os mais utilizados para esta tarefa, efetuando a medição de corrente elétrica consumida pelo motor, o que fornece indiretamente a potência consumida pelo mesmo. A vantagem desta medição indireta das forças de corte reside no posicionamento do sensor no motor da máquina, ou seja, isolado do ambiente industrial que, via de regra, é bastante agressivo. Por outro lado, esta distância da região de corte implica num tempo de resposta maior, em função da inércia imposta pelo sistema máquina-ferramenta-peça. Apesar desta menor velocidade de resposta, o sinal que indica a potência elétrica do motor da máquina pode ser bastante útil como complemento em sistemas de monitoração multi-sensores (Hara, 1999). Com isso, objetiva-se estudar a aplicação do sensor de corrente por efeito Hall na monitoração do desgaste nos machos de corte usados no HST.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O banco de ensaio montado consiste de um centro de usinagem horizontal CNC Varga, modelo MFH 40 (10,5 kw de potência do eixo-árvore e faixa de rotação de 50 até 5000 rpm), um cabeçote

de roscar auto-reversível CST TAPMATIC RDTIC-50, com capacidade máxima de trabalho para macho de corte até M12 e rotação máxima de 2500 rpm, uma mesa divisora, sobre a qual eram fixados os corpos de prova, e um sistema de aquisição de dados.

O perpendicularismo entre a superfície do corpo de prova e o eixo de rotação do macho de corte foi verificado usando-se um relógio apalpador 800S da Puppitast Mahr, cuja resolução é de 0,01 mm. Antes da utilização da máquina para a realização dos ensaios, verificou-se a rotação do eixo-árvore com um tacômetro Hasler. O erro percentual entre o valor indicado no monitor da máquina e o medido pelo tacômetro foi sempre inferior a 2%. Os desgastes das ferramentas foram medidos utilizando-se um microscópio ferramenteiro LEITZ WETZLAR com sistema de medição na lente ocular do microscópio e com resolução de 0,25 µm. Um calibre tampão de rosca P.N.P. M8 x 1,25 – 6H da Neomatic foi usado para a aferição da qualidade das roscas produzidas, de forma a estabelecer o fim de vida dos machos de corte. Fotos das superfícies de saída e de folga dos machos de corte foram feitas pelo microscópio eletrônico de varredura DSM 960 ZEISS.

Os corpos de prova adotados são volantes de ferro fundido cinzento GG25 (226 HB) usados em motores de 1000 cm<sup>3</sup> de automóveis de passeio, cedidos pela AUTO PIRA S.A.. Realizou-se uma análise micrográfica num microscópio ótico Axiotech, da marca Zeiss. A primeira análise das amostras foi sem ataque químico para melhor observar as formas da grafita existente, a qual pode ser vista na foto da esquerda na Fig. (5). Depois as atacou com uma solução de álcool com 2% de ácido nítrico (Nital 2%), possibilitando observar melhor a matriz do ferro fundido cinzento (foto da direita na Fig. (5)). A análise micrográfica do material apresentou uma matriz predominantemente perlítica com a presença de veios de grafita, contendo pouquíssima ferrita e com apenas alguns pontos duros de cementita e esteadita.

Para usinagem dos pré-furos foi utilizada broca de metal duro P40 com 6,8 mm de diâmetro (norma DIN 6537 K), coberta com TiAlN e haste padrão conforme DIN 6535HA. A furação foi realizada a seco, com avanço de 0,2 mm/rot e velocidade de corte de aproximadamente 64 m/min.

Foram usados três tipos de machos métricos M8 nos experimentos (Tab. (3)). São todos machos longos com haste reforçada conforme norma DIN 371, rosca ISO métrica grossa conforme norma DIN 13, Ajuste 6H, diâmetro ( $\varnothing$ ) menor máximo igual a 6,912 mm,  $\varnothing$  menor mínimo igual a 6,647 mm e classe de tolerância ISO 2. A escolha desta medida de rosca, M8, é devido a sua grande aplicabilidade na composição de peças dentro da indústria metal mecânica, sobretudo na automobilística. Os revestimentos dos dois machos de corte foram feitos pelo processo PVD.

Para o sensoriamento via corrente elétrica do motor do eixo-árvore foi utilizado um sensor de corrente por efeito hall Newtronic, modelo NW-SCD-50-R, cuja faixa de amperagem é de 0 a 50 A (CA), tensão de alimentação de 220 VAC/60 Hz e sinal de saída na faixa de 0 a 10 VDC. Para o tratamento do ruído do sinal, foi usado um filtro passa baixa de 500 Hz, entre o sensor e o módulo de entrada e saída de sinais modelo BNC-12. O sinal é enviado à placa de conversão e aquisição de sinais modelo AT-MIO-16XE-50, da National Instruments, gerenciado por um computador que utilizou o software LabView 5.1, também da National Instruments.

Tabela 3. Características dos machos de corte usados nos ensaios.

CARACTERÍSTICAS	MACHOS MÉTRICOS M8 x 1,25		
material	HSS-Co	HSS-Co-PM	HSS-Co-PM
canais	helicoidais	retos c/ponta helicoidal	retos c/ponta helicoidal
nº de canais	3	3	3
formato do chanfro (DIN 2197)	C (2 a 3 filetes de rosca)	B (3,5 a 5 filetes de rosca)	B (3,5 a 5 filetes de rosca)
ângulo de chanfro $\chi_r$ (°)	15	8	8
revestimento	-	TiAlN	TiCN

A metodologia consistiu em roscar uma carreira de furos passantes, cada volante possuía duas carreiras de furos próximas ao centro com comprimento de furo de 13 mm mais outras três com

comprimento de furo com 26 mm; realizar as medições do desgaste da ferramenta, com o microscópio ferramenteiro; e verificar a qualidade das rosas produzidas, com o calibre tampão de rosca P.N.P.. O critério de fim de vida adotado foi o calibre tampão de rosca não passar totalmente na extremidade P. (passa) e/ou passar mais de um filete de rosca completo na extremidade N.P. (não passa) na rosca usinada. Caso as rosas fossem aprovadas, conforme critério pré-estabelecido, usinava-se mais uma carreira de furos, e assim sucessivamente. A velocidade de corte empregada foi de 60 m/min (rotação de 2387 rpm e avanço de 2983,75 mm/min) na condição a seco.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desgaste de flanco na superfície de folga dos machos de corte foi o tipo de desgaste predominante, visto que durante e após a ação de corte, no movimento de recuo do macho de corte, tal superfície fica continuamente em contato com a superfície interna do furo rosado e, possivelmente, em contato com fragmentos de rebarbação, de cavacos, de partículas provenientes da peça e/ou da ferramenta de corte.

A superfície de saída, no entanto, não apresentou desgaste significativo. Isto porque o ferro fundido cinzento possui grande quantidade de veios de grafita, que introduzem descontinuidades na matriz do metal reduzindo a ductilidade e causando a quebra fácil dos cavacos (formando cavacos de ruptura). Isso resulta em comprimento de contato cavaco-ferramenta pequeno, baixas forças de usinagem e potência consumida e altas taxas de remoção de material. A própria grafita serve como lubrificante para a ferramenta de corte (American Society for Metals, 1989 e Machado & Silva, 1999). Todos os cavacos produzidos durante os ensaios foram descontínuos, conforme Fig. (5). Observa-se que o cavaco é formado por inúmeras lamelas provenientes da intensa taxa de deformação plástica.

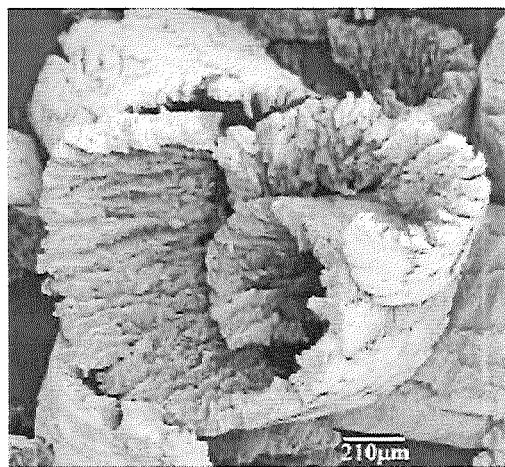


Figura 5. Cavacos de ferro fundido GG25 obtidos nos ensaios. Ampliação de 50x.

Acredita-se que os mecanismos de desgastes atuantes foram o abrasivo e o adesivo. O desgaste abrasivo, bastante atuante na superfície de folga, deve ter sido causado pelas partículas duras do material usinado e/ou por consequência de desprendimento de partículas aderidas. As Figuras (6) e (7) apresentam o 3º e 4º filetes de uma superfície lateral dos machos de corte fabricado por metalurgia do pó revestido com TiAlN e com TiCN, respectivamente, antes da usinagem e após o final de vida da ferramenta. Verificou-se nos ensaios que o desgaste é maior na medida que o diâmetro da ferramenta é aumentado na região chanfrada do macho de corte, isto é, o desgaste no primeiro filete é quase sempre menor que no segundo, que por sua vez, é menor que no terceiro e assim por diante, o que é confirmado pelas Figs. (6) e (7). Isto pode ser explicado pelo fato da variação da velocidade de corte, menor velocidade nos primeiros filetes que nos demais, que resulta

em alterações nos níveis de temperatura. Supõe-se que na medida que o desgaste do primeiro filete da parte cilíndrica se desenvolve, tem-se início a ação de corte do filete seguinte da parte cilíndrica e assim sucessivamente, até que o nível de desgaste sobre os filetes não permita a produção de roscas dentro da tolerância especificada.

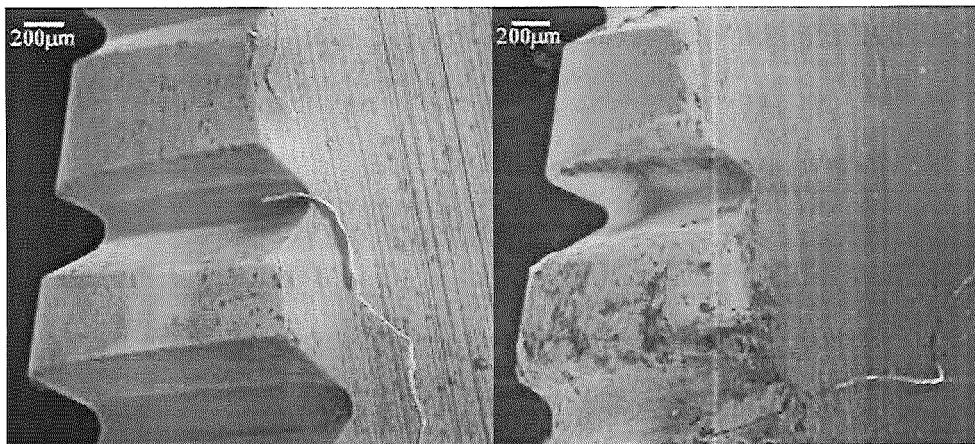


Figura 6. 3º e 4º filetes do macho de corte fabricado por metalurgia do pó revestido com TiAlN novo (a esquerda) e gasto (a direita). Ampliações de 35x.

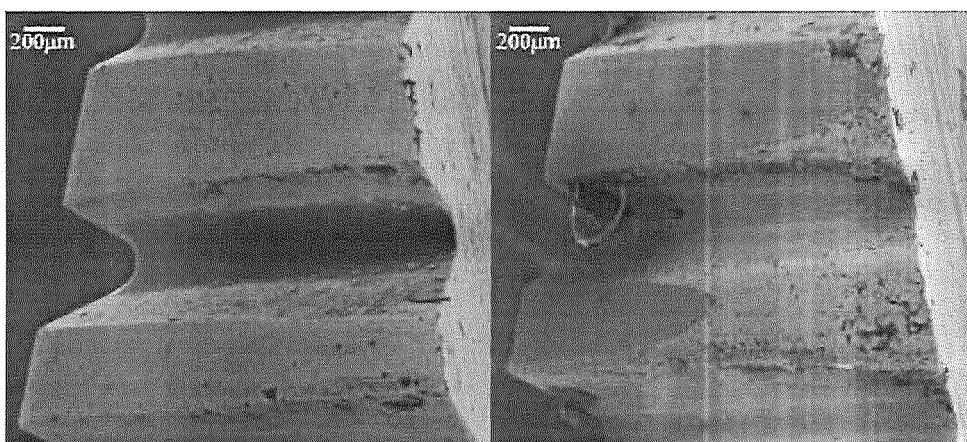


Figura 7. 3º e 4º filetes do macho de corte fabricado por metalurgia do pó revestido com TiCN novo (a esquerda) e gasto (a direita). Ampliações de 35x.

Em função da característica do comportamento de desgaste em machos de corte, mediu-se o desgaste de flanco do quarto filete de cada superfície lateral, ou seja, os valores apresentados no gráfico da Fig. (8a) são a média de três medições nas três superfícies laterais de cada macho de corte correlacionados com o comprimento de rosca usinada. Na Figura (8b) os valores de tensão provenientes do sensor de corrente são marcados no gráfico em relação ao comprimento de rosca usinada. É importante salientar que tais valores são os máximos registrados durante o corte de cada rosca. Comparando os dois gráficos, pode-se notar uma correlação entre o nível de tensão e o desgaste progressivo dos machos de corte, demonstrando um crescimento contínuo do valor de tensão à medida que o desgaste se desenvolve. O macho de HSS-Co-PM com revestimento de TiAlN produziu 4329 mm de comprimento de rosca usinada, contra 702 mm do macho de corte de HSS-Co-PM com revestimento de TiCN e 117 mm do macho de corte de HSS-Co, apesar do péssimo aspecto visual das roscas produzidas por este, conforme critério de fim de vida adotado.

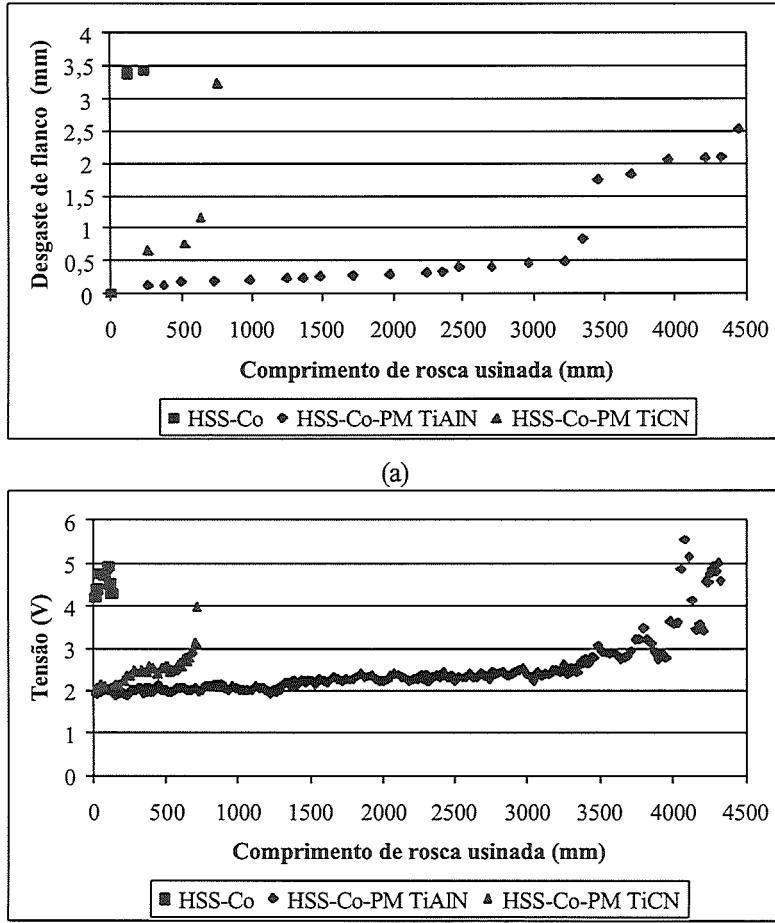


Figura 8. Desgaste de flanco (a) e tensão (b) versus comprimento de rosca usinada (60 m/min a seco).

O melhor desempenho do macho de corte com TiAlN se deve ao fato de que este revestimento é adequado para a usinagem a seco, devido a sua alta dureza a quente que, segundo Yuhara (2000), é garantida por sua característica de formar um filme de proteção extremamente denso e com alta adesão de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em sua superfície quando é aquecida, aumentando a resistência a difusão e oxidação do material do revestimento na peça. Outra grande vantagem é a sua baixa condutividade térmica. Assim, maior quantidade de calor é dissipado pelo cavaco, permitindo que se utilizem velocidades de corte mais altas, já que a carga térmica no substrato é menor. O que não ocorre quando se usa revestimento de TiCN, pois segundo Schulz et al (2000), durante a usinagem sob alta velocidade e a seco, as temperaturas durante o corte podem atingir bem acima de 600 °C na zona de contato entre o cavaco e a ferramenta, e sob tais condições extremas o revestimento TiCN não é mais suficiente para atingir os objetivos desejados na usinagem. Este revestimento apresenta alta dureza sob temperaturas relativamente baixas mas, em compensação, possui maior tenacidade. Porém, o resultado satisfatório, considerando as condições agressivas do HST, obtido pelo macho de corte HSS-Co-PM com revestimento de TiAlN foi garantido também pelo alto nível de tenacidade combinado com alta resistência térmica e excelente resistência ao desgaste por abrasão propiciado pela metalurgia do pó que, segundo Machado & Silva (1999) e Müller & Soto (1999), possui micro-estrutura homogênea com partículas de carbonetos muito menores e mais dispersas na

matriz, além de facultar a incorporação de um número maior de elementos de liga (carbonetos) que o processo de fabricação convencional.

A monitoração do desgaste de flanco em machos de corte através da medição da corrente no motor do eixo-árvore demonstrou sua utilidade. Observou-se uma correlação entre o desgaste máximo de flanco e o nível máximo de corrente atingido pelo motor do eixo-árvore em cada operação de roscamento. A estratégia de utilização dessa correlação ainda será motivo de investigações futuras, quando serão avaliados outros pares ferramenta-peça, que produzirão diferentes níveis iniciais de corrente, já que esta é proporcional ao torque e este à tensão de cisalhamento do material da peça. Pode-se dizer, no entanto, que a utilização da corrente para monitoração dependerá fortemente do tratamento do sinal de corrente e da estratégia a ser adotada. Devido a seu baixo custo e sua baixa intrusividade, este sensor, em combinação com outros sensores, pode ser de grande valia para a monitoração de processos de roscamento.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta as seguintes conclusões:

- O macho de corte HSS-Co-PM com revestimento de TiAlN apresentou melhor desempenho que os demais em função da combinação da elevada dureza a quente, proporcionada pelo TiAlN, e boa tenacidade, garantido pela microestrutura homogênea propiciada pela metalurgia do pó;
- O sinal proveniente do sensor de corrente apresentou uma boa correlação com o desenvolvimento do desgaste máximo de flanco e, consequentemente, com o desempenho do macho de corte no HST;
- O tipo de desgaste mais acentuado nos machos de corte foi o de flanco, provocado principalmente pelos mecanismos de abrasão e adesão.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo amparo financeiro, à TITEX PLUS e à AUTO-PIRA S.A. pelo suporte técnico, e ao Técnico Ronaldo de Oliveira Martins pelo apoio durante os experimentos.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Agapiou, J.S., 1994, "Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping", *Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME*, Vol. 116, No. 4, pp. 457-462, Nov.
- American Society for Metals, 1989, "Machining of Cast Irons", In: American Society for Metals, *Metals handbook*, 9.ed, Metals Park, Ohio, USA, Vol. 16 - *Machining*, pp. 648-665.
- Andrae, P., 1999, "Chip Formation in High Speed Cutting HSC", 3º Proceedings of the International Machining & Grinding Conference, Cincinnati, Ohio, USA, Session 215: Metal Removal, pp. 107-120.
- Dan, L. and Mathew, J., 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning - A Review", *International Journal of Machine Tools Manufacture Design, Research and Application*, Vol. 30, No. 4, pp. 579-598.
- Dewes, R.C. and Aspinwall, D.K., 1997, "A Review of Ultra High Speed Milling of Hardened Steels", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 69, pp. 1-17.
- Du, R., Elbestawi, M.A. and Wu, S.M., 1995, "Automated Monitoring of Manufacturing Processes, Part 2: Applications", *Journal of Engineering for Industry – Transactions of the ASME*, Vol. 117, No. 2, pp. 133-141, May.
- Gekonde, H.O. and Subramanian, S.V., 2002, "Tribology of Tool-Chip Interface and Tool Wear Mechanisms", *Surface and Coatings Technology*, No. 149, pp.151-160.
- Hara, C.M., 1999, "Uma Contribuição para o Monitoramento de Retificação Cilíndrica de Mergulho", Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, Brasil.

- Kluft, W., 1997, "Monitorando a Ferramenta e Visualizando o Processo de Corte, Melhora-se a Produção", Máquinas e Metais, No. 378, pp. 20-49, jul.
- Machado, A.R., and Da Silva, M.B, 1999, "Usinagem dos Metais, apostila", 4.ed., Editora da Universidade Federal de Uberlândia - EDUFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 172 p.
- Müller, P. and Soto, M., 1999, "Usinagem sem Refrigeração de Furos e Roscas", 4º Seminário Internacional de Alta Velocidade, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, Brasil, pp. 127-133.
- OSG, 1999, Catálogo de ferramentas, Vol.1, OSG ferramentas de precisão ltda., São Paulo.
- Sandvik, 2000, Steel Turning, Sandvik Coromant
- Schulz, H., 1997, "State of Art and Trends of High-Speed Machining", 2º Seminário Internacional de Alta Tecnologia – Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, Brasil, 10 p.
- Schulz, H., Emrich, A.K., Finzer, T. and Dörr, J., 2000, "Quais são e para que servem os Revestimentos", Máquinas e Metais, No. 416, pp. 38-45, set.
- Sha, J., Ni, J. and Wu, S.M., 1990, "Development of a Tap Wear Monitoring Scheme", Proceedings of Manufacturing International '90 - Part 4: Advances in Materials and Automation, Atlanta, GA, USA, pp. 137-142.
- Yuhara, D.A., 2000, "Aplicação de Revestimentos PVD em Ferramentas de Corte", 1º Usinagem 2000 Feira e Congresso, São Paulo, São Paulo, Brasil, 13 p.

## AN INVESTIGATION UPON CURRENT SENSOR IN THE MONITORING OF HIGH SPEED TAPPING

**Alexandre Araújo Bezerra**

**Reginaldo Teixeira Coelho**

**Aldo Braghini Júnior**

USP – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia Mecânica – Av. do Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – CEP: 13566 590 – Fone: 0xx16 273 9438 – Fax: 0xx16 273 9214 – E-mail: aab@sc.usp.br, rtcoelho@sc.usp.br e aldobj@sc.usp.br.

**Leonardo Roberto Silva**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Av. Amazonas, 5253 – Nova Suíça – Belo Horizonte – MG – CEP: 30410 000 – E-mail: lrsilva@sc.usp.br.

**Marcos Soto**

Titex Plus Precision Cutting Tools – Sandvik do Brasil S.A. Indústria e Comércio – Av. das Nações Unidas, 21732 – CEP: 04795 914 – São Paulo – SP – E-mail: marcos.soto@sandvik.com.

**Abstract.** This work presents some results from the application of a current sensor based on Hall effect used on the main spindle. It evaluates the development of tool wear intending to monitor High Speed Tapping (HST) operations. The experimentation was accomplished in a horizontal machining center at 60 m/min, in the dry condition. Workpiece were grey cast iron GG25. Three kinds of High Speed Steel (HSS) taps were used: one common; and other two manufactured by powder metallurgy (PM), one of these with TiAlN coating and another one with TiCN coating. Tool-life criterion was the thread gauge G. side threading up to the end and the N.G. side threading no more than one thread. The data acquisition system consisted of a Hall sensor, low pass filter, entrance and exit module of signs, conversion and acquisition board of signals and computer, which used the LabView software for the management of the signs. The results showed that the current sensor signals presented a reliable information and direct relation with the progression of the wear.

**Keywords:** high speed tapping, wear, current sensor.