



ESTUDO DO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE AÇO-RÁPIDO REVESTIDAS NO ROSQUEAMENTO INTERNO EM ALTA VELOCIDADE DE CORTE

Paulo Rosa da Mota

CEFET/GO – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, rua 75, nº 46, Centro, CEP: 74.130, Goiânia, Goiás, Brasil.

prmot@mecanica.ufu.br

Rafael Ariza Gonçalves

UFU – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica CEP: 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

ltm-ariza@mecanica.ufu.br

Alexandre Martins Reis

CEFET/GO – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, rua 75, nº 46, Centro, CEP: 74.130, Goiânia, Goiás, Brasil..

amr@cefetgo.br

Márcio Bacci da Silva

UFU – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica CEP: 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

mbsilva@mecanica.ufu.br

Resumo. O principal objetivo desse trabalho é estudar o comportamento de machos de corte de aço super-rápido AISI-M3 com alto teor de vanádio (HSS-E) e machos de aço-rápido AISI-M7 fabricados pelo processo da metalurgia do pó (PM), revestidos com nitreto de titânio (TiN) e multicamadas (TiN-TiAlN), no rosqueamento do ferro fundido cinzento GH-190 com velocidade de corte moderada e alta. Os ensaios foram realizados em um centro de usinagem Discovery 760 ROMI utilizando cabeçote fixo. Foram empregados machos M6x1 com três canais retos. Utilizou-se velocidades de corte de 37,5 m/min e 75 m/min. O critério de fim de vida utilizado foi baseado no emprego de calibre passa- não-passa, nas dimensões do desgaste na superfície de folga e também na falha catastrófica da ferramenta. Foram realizadas análises em microscópios óptico e eletrônico de varredura das ferramentas empregadas para determinar as formas e mecanismos de desgaste e avarias desenvolvidos. Os resultados mostraram que as ferramentas com revestimento multicamadas tiveram os melhores desempenhos, independentemente do material do substrato.

Palavras Chave: Rosqueamento Interno, Macho de Corte, Revestimento, HSC

1. INTRODUÇÃO

A idéia de usinar com altas velocidades de corte partiu do pesquisador alemão Salomon, na década de 20, comprovando que em princípio as temperaturas e as forças de corte tendem a decrescer em altíssimas velocidades. Mas na prática, no chão-de-fábrica, um longo percurso teve que ser trilhado até a introdução da usinagem em alta velocidade (HSC - “High Speed Cutting”). Somente com o desenvolvimento, no início dos anos 80, dos fusos de alta rotação que permitem a usinagem em altas velocidades de corte é que se tornou possível a realização de pesquisas tecnológicas de base nessa área (Schulz, 1997; Bezerra, 2003).

A HSC possui importância fundamental na indústria aeroespacial, principalmente no corte de ligas de alumínio, ligas de titânio e superligas à base de níquel. Atualmente, esta tecnologia é muito utilizada na fabricação de peças para componentes automotivos e eletrônicos, além da fabricação de moldes e matrizes em materiais endurecidos. Praticamente em todas as áreas da usinagem é utilizado o conceito de HSC, principalmente no torneamento e no fresamento, devido a importância destes processos na indústria metal mecânica, e sobretudo por se tratarem de processos relativamente simples, em termos da cinemática e do controle do processo, da remoção do cavaco e da dissipação de calor quando comparados aos demais processos de usinagem convencional tais como o rosqueamento interno com macho de corte (Coldwell et al., 2003; Bezerra, 2003).

É comum definir alta velocidade como uma faixa que excede claramente os dados de corte em geral praticados, os quais atingem os limites das máquinas-ferramenta ou das ferramentas (Müller, 2000). Em geral, quando se trata de usinagem a alta velocidade, fala-se em velocidades que são o dobro ou o quádruplo da velocidade de corte padrão. O rosqueamento interno com macho de corte é uma das mais exigentes operações de usinagem, sendo considerado um entrave na produção, podendo causar até a interrupção da linha produtiva (Zhang et al., 2003). Isso ocorre devido a complexidade do processo que se divide em três etapas distintas, corte, repouso no fim do furo, e retorno. Por isso, nas indústrias, as velocidades de corte utilizadas no processo de rosqueamento são relativamente baixas, girando em torno de 20m/min. Deste modo, velocidades de corte acima de 50 m/min, já seriam consideradas HSC (Linss, 2002).

Um dos maiores problemas do rosqueamento com macho de corte em altas velocidades de corte é a quebra da ferramenta, geralmente devido ao torque excessivo e temperaturas elevadas, causadas principalmente pelo aumento do atrito gerado pelos cavacos, e pela falta de lubrificação na interface cavaco/ferramenta, aumentando sensivelmente as forças de corte (Fantin, 1992; Cao et al., 2002;). Isso, conseqüentemente, demanda um material de ferramenta que alie alta tenacidade, resistência mecânica e térmica. Muller (2000) afirma que tais exigências são satisfeitas, de modo efetivo, por ferramentas de aço rápido com elevado teor de vanádio (HSS-E), fundidas pelo método convencional, ou fabricadas pelo processo da metalurgia do pó (HSS PM). Outra opção seria o uso de fluidos de corte, os quais reduzem o desgaste da ferramenta, dissipam o calor da peça e da máquina, auxiliam no escoamento dos cavacos e removem os resíduos de corte remanescente na peça e na máquina. As condições severas de corte impostas pela HSC requerem a utilização, na maioria dos casos, de grande quantidade de fluido de corte, pois a demanda de refrigeração, devido às altas temperaturas desenvolvidas na região de corte, é muito alta (Bezerra, 2003). Entretanto, os fluidos de corte atualmente encontram algumas restrições de uso nos principais processos de usinagem, principalmente nos países mais desenvolvidos. Isto se deve aos altos custos operacionais, as questões ecológicas, as exigências legais relacionadas à preservação do meio ambiente e a saúde do ser humano (Belluco, 2002). Do ponto de vista econômico, o corte a seco será adotado como uma prática comum quando os custos de produção de uma peça, sem os benefícios dos fluidos de corte, forem equivalentes ao custo de compra, manutenção e descarte dos fluidos segundo as normas ambientais (Dunlap, 1997).

Outra tecnologia bastante empregada para o rosqueamento em HSC é o emprego de revestimento sobre o substrato da ferramenta de corte, buscando-se conseguir uma maior resistência aos mecanismos de desgaste por abrasão e adesão e aos termicamente ativados (difusão e oxidação). Entre as coberturas disponíveis no mercado, a cobertura de nitreto de titânio (TiN com dureza de 2500 HV) ainda hoje é a que tem maior aceitação comercial, apesar de vários estudos (Cselle, 1998; Santos, 2002; Harris et al., 2003; Yuhara, 2000) mostrarem que em determinados casos outras coberturas apresentam resultados bem superiores aos obtidos com este revestimento, como o TiAlN (Nitreto de Titânio Alumínio, com dureza superior a 3000 HV).

Para o rosqueamento com macho máquina em alta velocidade é necessário o uso de cabeçote auto-reversível, para compensar a falta de sincronismos de velocidade e avanço, principalmente nas máquinas convencionais ou com comando numérico (CNC) mais antigos. Entretanto, as máquinas com CNC mais modernos possuem outras alternativas para o rosqueamento. Por exemplo, a maioria dos centros de usinagem vem agora com uma função de abertura de roscas síncrona no CNC e pode

perfeitamente controlar as taxas de avanço e a rotação, adequando-as para a abertura de roscas a velocidade de até 180 m/min, dependendo do material da peça e da ferramenta. Pode-se utilizar um suporte rígido, onde o macho é fixo em um mandril sem compensação. O fuso é sincronizado com os movimentos de rotação e de avanço permitindo a utilização de altas velocidades de corte. Neste caso o sincronismo é definido pelo comando da máquina, normalmente girando em torno de 3.000 rpm (Agapiou, 1994; Müller, 2000; Linss, 2002; Bezerra, 2003).

Seguindo esta linha de pesquisa este trabalho se propõe a investigar o comportamento de machos de corte de aço super-rápido AISI-M3 com alto teor de vanádio (HSS-E) e machos de aço-rápido AISI-M7 fabricados pelo processo da Metalurgia do Pó (PM) revestidos com nitreto de titânio (TiN) e Multicamadas (TiN-TiAlN). O rosqueamento será em ferro fundido cinzento GH-190, com velocidade de corte alta e moderada, na condição a seco. Será utilizado um cabeçote fixo e os furos serão cegos.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Todas as ferramentas testadas neste trabalho são machos de corte para rosca métrica M6, cujas principais características geométricas são apresentadas na Tabela 1. Os materiais dos substratos das ferramentas ensaiadas foram aço AISI-M3 com 3% de vanádio (HSS-E), dureza de aproximadamente 879 Hv (66,4 HRC), fabricado pelo método de fundição convencional, e aço AISI-M7, fabricado pela metalurgia do pó (PM), com dureza média de 871 HV (aproximadamente 66 HRC). Nos ensaios foram empregadas duas condições de revestimento, TiN e multicamadas (TiN-TiAlN, comercialmente conhecido como FUTURA), e duas velocidades de corte, 37,5 m/min e 75 m/min, totalizando 8 tipos de testes, que são apresentados na Tabela 2. Os ensaios consistiram na realização de roscas de 11mm de profundidade de corte em furos cegos de 16,5mm.

Tabela 1 - Características geométricas dos machos utilizados nos ensaios.

Machos máquina ISO 529 M6x1 6H (Canal reto)			
Características	Dimensões	Características	Dimensões
Nº de canais	3 canais	Nº de filetes no chanfro	2 filetes
Ângulo de entrada	20°	Ângulo de saída ou de corte	De 12° a 14°
D(Diâmetro externo)	6mm (M6)	Passo	1 mm
D2 (Diâmetro efetivo)	5,350 mm	D1 (Diâmetro interno)	4,917mm
H1(altura do filete)	0,541 mm	Ângulo da rosca	60°

Tabela 2 - Condições de teste

Nº do teste	Revestimento	Velocidade de Corte (m/min)
1	HSS PM FUTURA (Multicamada)	75
2	HSS-E FUTURA (Convencional)	75
3	HSS PM TiN	75
4	HSS-E TiN	75
5	HSS PM FUTURA (Multicamada)	37,5
6	HSS-E FUTURA (Convencional)	37,5
7	HSS PM TiN	37,5
8	HSS-E TiN	37,5

Para a realização dos ensaios foi utilizado um centro de usinagem Discovery 760 – ROMI com comando SIEMENS. Os ensaios de rosqueamento foram realizados utilizando um cabeçote fixo da própria máquina. O ciclo de programação utilizado foi o CYCLE 84, próprio para o rosqueamento com macho rígido do comando SIEMENS, utilizado na máquina CNC. Durante os ensaios foram monitoradas as qualidades geométricas das roscas produzidas e o desgaste de flanco da ferramenta

de corte. A qualidade geométrica das roscas feitas foi avaliada através de um calibre passa-não-passa para roscas M6x1,0 (Ferriplax 19264). A medição direta do desgaste foi feita em um microscópio óptico utilizando um dispositivo (Figura 1) desenvolvido no laboratório com o objetivo de fixar o macho na mesma posição e poder girá-lo até 360°, garantindo assim a visualização dos principais ângulos e superfícies da ferramenta. Os valores de desgaste de flanco das ferramentas foram medidos nas três superfícies de folga, entre os três canais do macho de corte, e nos três primeiros filetes do mesmo, que correspondem a região do macho responsável pelo corte efetivo de material (Sha et al., 1990; Reis, 2004).

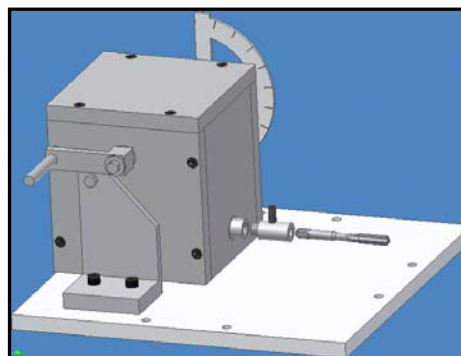
Os corpos de prova usinados foram barras de ferro fundido cinzento GH 190 (classificação segundo norma FIAT de 1991) cujas principais características são apresentadas na Tabela 3, e cujas dimensões são as seguintes: 250 X 250 X 50 mm. Cada barra foi fresada com o objetivo de planificar a região a ser rosqueada e principalmente para a retirada de impurezas, comum nas ligas fundidas em areia.

Tabela 3. Características do ferro fundido cinzento GH-190

Composição Química (%)					Características Estruturais			Dureza
C	Si	Cr	S	P	Matriz	Grafita	Cementita e carbono livre	200 (HV)
3,2-3,5	2,0-2,5	≤ 0,2	≤ 0,15	≤ 0,10	Perlítica lamelar max. 5% de ferrita	Tipos B e D	Max. 1%	



(a)



(b)

Figura 1- (a) Foto da montagem feita para a medição de desgaste no microscópio óptico; (b) Desenho do dispositivo fabricado (b)

Como critério de fim de vida foi definido que cada ferramenta faria no máximo 1000 roscas, e que os testes seriam interrompidos antes deste limite somente em dois casos: 1) quando a qualidade geométrica da rosca fabricada fosse reprovada pela análise com o calibre passa-não-passa; 2) quando ocorresse a falha catastrófica da ferramenta.

Após a realização dos ensaios de rosqueamento, foram feitas análises das roscas fabricadas e das ferramentas testadas, utilizando-se MEV, a fim de se comparar o perfil das roscas fabricadas nas diferentes condições testadas, bem como identificar as formas e mecanismos de desgaste desenvolvidos nas superfícies das ferramentas ensaiadas.

3. RESULTADOS

3.1. Número de roscas fabricadas

O gráfico da Figura 2 apresenta os resultados obtidos em número de roscas feitas para cada condição de teste empregada neste trabalho. Neste gráfico observa-se que a única condição de corte em que se conseguiu atingir o limite de 1000 roscas fabricadas, foi quando se utilizou uma

ferramenta de HSS-PM revestida com FUTURA em velocidade de corte moderada (37.5 m/min). Nas demais condições os testes foram encerrados antes de se chegar a 1000 roscas, pois a qualidade geométrica das mesmas foi reprovada pela análise com o calibre passa-não-passa, exceto a ferramenta HSS-E FUTURA, a qual falhou por quebra catastrófica.

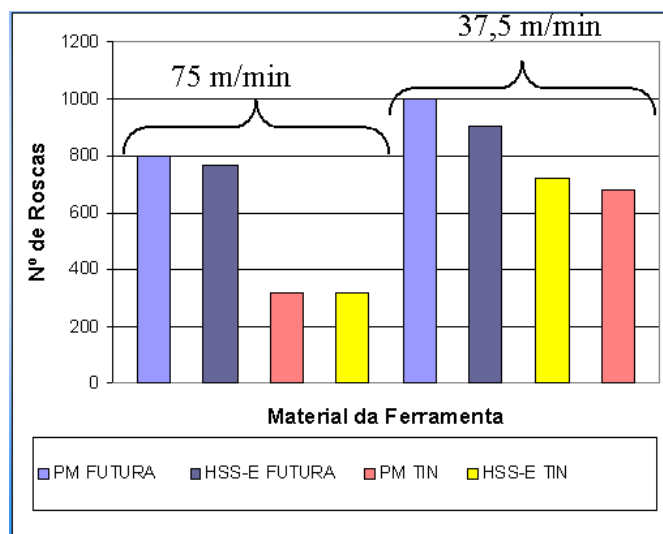


Figura 2 - Número de roscas feitas em função das diferentes condições de corte empregadas

Na Figura 2 observa-se que as ferramentas revestidas com TiN, na condição mais severa (HSC), tiveram um desempenho muito inferior às ferramentas revestidas com FUTURA, conseguindo aproximadamente 40% de eficiência, quando comparado à ferramenta HSS PM, revestida com FUTURA. Por outro lado, com velocidades moderadas, a diferença diminuiu. A ferramenta HSS-E TiN, por exemplo, chegou a 72% de eficiência, quando comparada com a ferramenta HSS PM FUTURA.

Estes resultados evidenciam a performance das ferramentas revestidas com multicamadas TiN-TiAlN (FUTURA), mostrando que o efeito da temperatura, devido a alta velocidade de corte e o atrito entre a ferramenta, os cavacos e a peça, provavelmente foi minimizado devido à formação de um filme óxido protetivo de (Al_2O_3) extremamente denso e com alta adesão na superfície do macho, aumentando a resistência à difusão e oxidação da ferramenta de corte. O aparecimento deste filme foi evidenciado por Yuhara (2000), em ferramentas revestidas com uma camada única de TiAlN, no entanto acredita-se que o mesmo fenômeno acontece com revestimento multicamada, sendo o TiAlN a camada mais externa, que é o caso do presente trabalho.

Outra explicação técnica para o melhor desempenho das ferramentas revestidas com TiN-TiAlN está relacionado com a baixa condutividade térmica desse revestimento, assegurando que a maior parte do calor gerado na interface cavaco/ferramenta seja dissipado pelo cavaco, diminuindo a carga térmica no substrato do macho. O Al_2O_3 atua como uma camada que aumenta a lubrificidade na interface mantendo a integridade desta, o que favorece o aumento em sua vida útil e conseqüentemente aumenta o número de roscas usinadas, quando se trabalha em alta velocidade de corte (Paldey, 2003).

Embora a literatura confirme o bom desempenho das ferramentas fabricadas pelo método da metalurgia do pó, devido ao alto nível de tenacidade combinado com uma alta resistência térmica e excelente resistência ao desgaste por abrasão, isto não ficou evidente nos testes realizados em laboratório, conforme a Figura 2. Para velocidades moderadas o macho HSS-E convencional, revestido com TiN fez 40 roscas a mais que a ferramenta fabricada com PM TiN, enquanto que para altas velocidades essas ferramentas tiveram o mesmo desempenho. Já as ferramentas revestidas com FUTURA, ocorreram o esperado, ou seja, conseguiu-se usinar mais roscas tanto em alta como em moderadas velocidades.

A Figura 2 também permite comparar a influência da velocidade de corte na vida das ferramentas. Observa-se que aumentando a velocidade de corte de 37.5 m/min para 75 m/min, para as ferramentas HSS PM, revestidas com FUTURA, a quantidade de roscas fabricadas diminuiu. Com velocidade de corte moderada foram fabricados 1000 roscas, podendo inclusive ultrapassar esse número, já que a ferramenta não atingiu o critério de fim de vida estabelecido: calibração da rosca ou falha catastrófica. Por outro lado com velocidade alta foram rosqueados somente 800 furos, sendo que nos últimos furos os machos apresentaram sinais de desgaste severo e a calibração das roscas ficou comprometida.

3.2. Qualidade das roscas fabricadas

As Figuras 3a e 3b mostram fotos no MEV de algumas roscas fabricadas, a Figura 3c mostra um detalhe de um filete de rosca com uma porção de material aderido. As ferramentas utilizadas foram de aço-rápido fabricada pela metalurgia do pó revestida com multicamadas TiN-TiAlN (HSS-PM FUTURA), usinando com alta velocidade de corte (75 m/min). A Figura 3(a) mostra o perfil da rosca fabricada com a ferramenta nova, enquanto que a Figura 3(b) e (c) mostram a superfície rosqueada com a ferramenta após rosquear 800 furos.

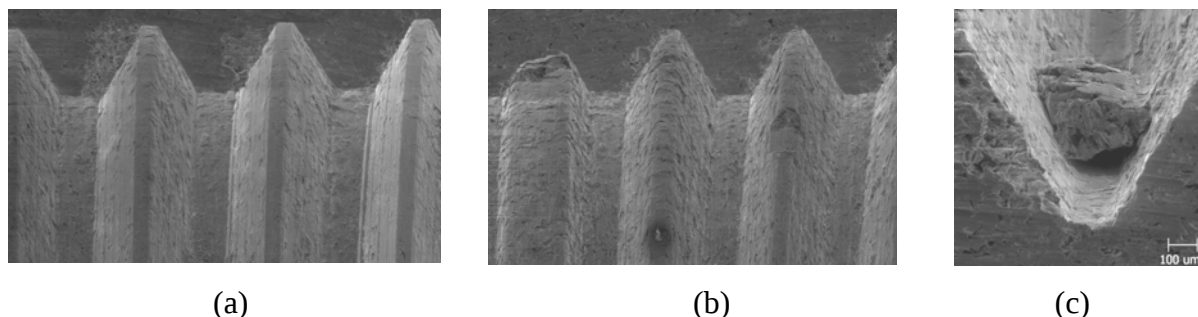


Figura 3 – Fotos (MEV) de roscas fabricadas com macho de corte de HSS-PM FUTURA, com alta velocidade de corte: a) Ferramenta nova; b) Ferramenta desgastada; c) Detalhe de uma rosca fabricada por ferramenta desgastada.

Mesmo que o material utilizado tenha as características apresentadas na tabela 4, percebe-se que o desgaste nas ferramentas alterou a superfície das roscas usinadas, conforme pode ser observado na Figura 3. O perfil da superfície usinada apresenta uma aparência rugosa, a qual prejudica o deslizamento do calibre passa-não-passa ou até mesmo de parafusos, principalmente na porção final da rosca, que é o caso da Figura 3(b), onde a ferramenta oferece o maior índice de desgaste, ou seja, na parte cônica do macho. Isto indica que a calibração das roscas testadas poderá ser prejudicada se os testes forem por amostragem. Se no controle de qualidade for encontrada uma porção de ferro fundido aderido no filete da rosca, comum em rosqueamento, conforme mostra a Figura 3(c), a rejeição da rosca será aplicada, comprometendo a vida da ferramenta de corte.

Na Figura 3 percebe-se também que o fato de se usar um ciclo fixo para o rosqueamento, não comprometeu o acabamento nas laterais dos filetes, sugerindo que não houve falta de sincronismo entre os movimentos de rotação e avanço, problema comum em máquinas mais antigas principalmente na usinagem em altas velocidades de corte. As dificuldades de aceleração e desaceleração da máquina-ferramenta foram superadas, pois não é possível detectar nenhum alargamento do perfil da rosca, garantindo assim a geometria da rosca usinada.

3.3. Desgaste de flanco medido

Para se comparar a evolução do desgaste de flanco nas ferramentas empregadas nas oito condições de usinagem testadas neste trabalho, foram construídos os gráficos da Figura 4, onde são plotados os valores máximos de desgaste de flanco (em milímetros) medidos em cada filete, para os três primeiros filetes de cada ferramenta em função do número de roscas feitas.

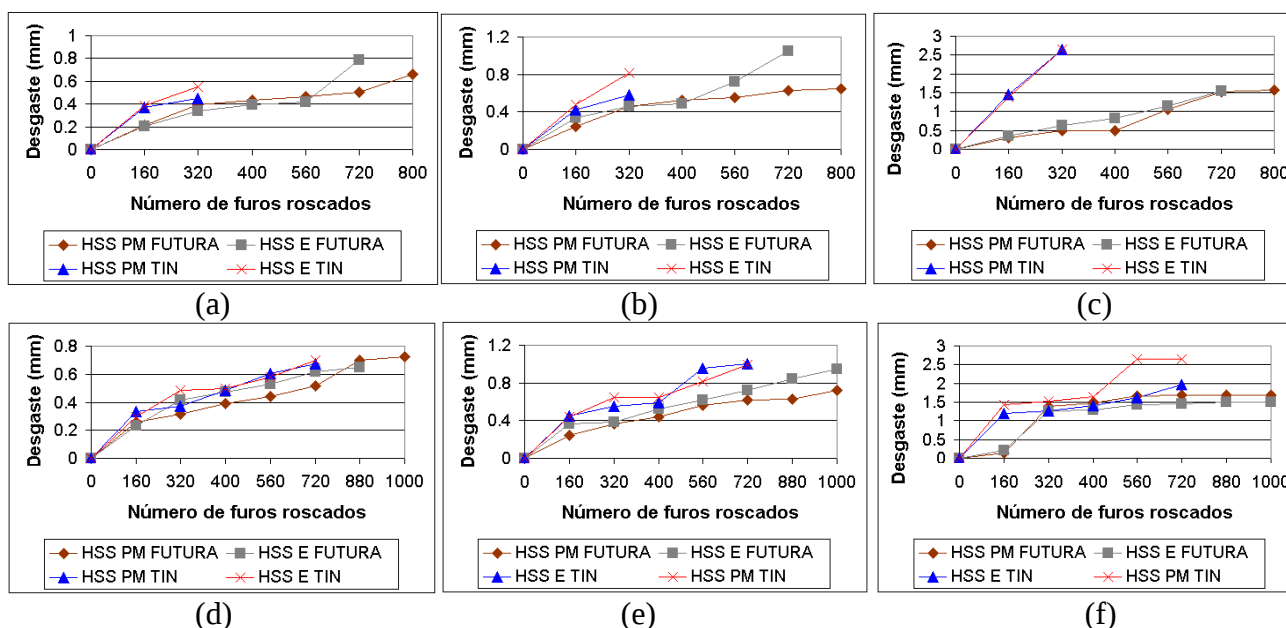


Figura 4 – Representação dos desgastes nos três primeiros filetes dos machos de corte: (a), (b), (c); primeiro, segundo e terceiro filetes respectivamente, velocidade de 75 m/min; (d), (e), (f); primeiro, segundo e terceiro filetes respectivamente, velocidade de 37,5 m/min.

Observa-se nestes gráficos que as ferramentas revestidas com TiN tiveram desgastes consideráveis, principalmente na condição onde foi utilizada alta velocidade de corte. Com 320 roscas, o desgaste para a ferramenta HSS-E TiN ficou próximo de 0,6 mm de comprimento, no primeiro filete da ferramenta. Para o segundo filete houve um aumento do desgaste, chegando a 0,8 mm de desgaste. O desgaste no terceiro filete atingiu todo o comprimento do dente ($\pm 2,6$ mm), caracterizando um tipo de avaria denominado por alguns autores (Reis, 2004) de rasgamento, comprometendo assim a calibração das roscas fabricadas. O ruído produzido durante a operação de rosqueamento foi muito grande, provocado pelo aumento do desgaste, aumentando o atrito entre a peça, os cavacos e a ferramenta. Quando diminuiu-se a velocidade de corte de 75 m/min para 37,5 m/min, houve um aumento de rendimento considerável, pois a ferramenta produziu 125% de roscas calibradas à mais do que na condição anterior. Rosqueou-se 720 furos, com um desgaste máximo próximo de 2,5 mm, no terceiro filete, embora o desgaste já era considerável com 560 roscas fabricadas.

As ferramentas fabricadas pelo método da Metalurgia do Pó (PM), revestidas com TiN tiveram desempenho pouco superior ao das ferramentas fabricadas pelo método convencional (HSS-E), considerados como aços super-rápidos. Para o rosqueamento com altas velocidades, o desgaste das ferramentas de aço-rápido (PM) foi inferior nos dois primeiros filetes e muito próximos no terceiro filete. Para velocidades moderadas, ocorreu o inverso, ou seja, nos dois primeiros filetes o desgaste foi semelhante, mas foi superior no terceiro filete. O desempenho das ferramentas revestidas com FUTURA foi superior às ferramentas revestidas com TiN, independentemente dos substratos analisados.

Observa-se que o número de roscas usinadas com os machos de aço-rápido PM, revestidos com FUTURA foi em torno de 150% superior ao das ferramentas do mesmo material, revestidas com TiN. O desgaste ficou inferior a 0,8 mm para os dois primeiros filetes do macho PM, revestido com FUTURA, na condição de alta velocidade de corte. Para o terceiro filete o desgaste foi de aproximadamente 1,5 mm, após usinar 800 roscas. Na mesma condição de usinagem, a ferramenta de aço super-rápido revestido com TiN, fez 320 roscas e o desgaste no terceiro dente ficou acima de 2,5 mm de desgaste (rasgamento).

Na condição de corte moderada (37,5 m/min), o desgaste das ferramentas de corte, revestidas com multicamada (TiN/TiAlN), também foi significativamente menor. Verifica-se que o desgaste

do macho de aço-rápido (PM) revestido com FUTURA, e do macho de aço super-rápido (HSS-E), também revestido com FUTURA, ficaram inferiores ao desgaste dos machos revestidos com TiN, mesmo considerando que as ferramentas revestidas com multicamadas fizeram em média 300 roscas à mais que as outras ferramentas. A ferramenta de HSS PM TiN, terceiro filete, atingiu 2,5 mm de desgaste com 560 roscas usinadas, enquanto que uma ferramenta semelhante, revestida com FUTURA, fez 1000 roscas e o desgaste ficou próximo de 1,5 mm.

3.4. Desgaste nas ferramentas de corte

A Figura 5a apresenta os três primeiros dentes da parte cilíndrica de um macho de corte novo, onde é possível compará-lo com a Figura 5b, ferramenta de HSS-E TiN, após usinar 320 roscas, com velocidade de corte de 75 m/min. Observa-se que há elevados níveis de desgaste em todos os filetes, onde é possível notar a presença de destacamento do revestimento (TiN) e o arredondamento do perfil dos filetes. Nesta figura fica evidente o rasgamento do terceiro filete do macho, além de notar a perda de material na porção final da crista do quarto dente, Figura 5b. Esta perda de material no “calcanhar” ou contra-fio ocorre como consequência da deformação plástica da crista que começa na aresta cortante, levando à perda do detalonamento (condição criada pela remoção de material na região traseira das cristas do macho, que produz folga e reduz o atrito durante o processo de rosqueamento), e se estende por todo o comprimento da crista, de tal forma que o material escoar em direção ao calcanhar.

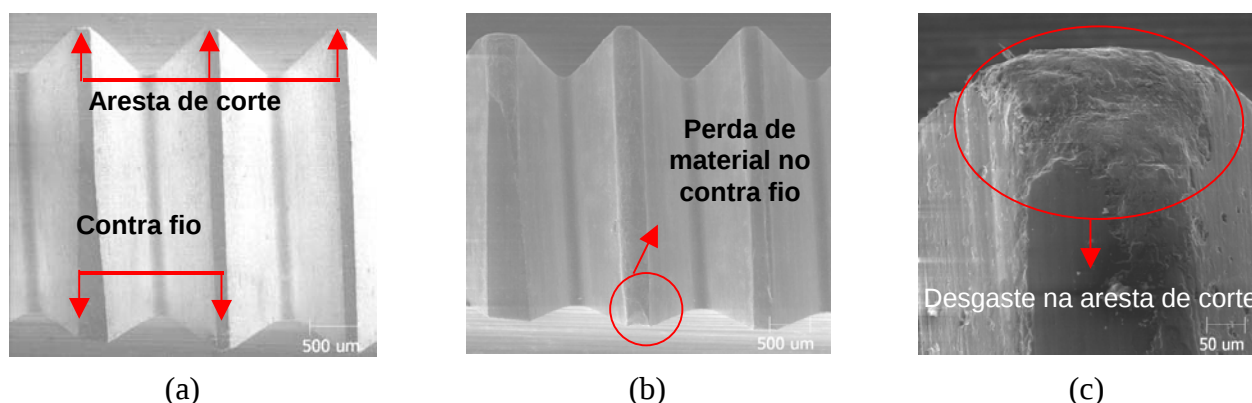


Figura 5 – Fotos (MEV) de ferramentas de corte utilizada no rosqueamento de ferro fundido; (a) HSS-E TiN; (b) HSS-E TiN; (c) HSS-E FUTURA

Na Figura 5c é possível verificar com detalhe o desgaste em uma ferramenta (HSS-E FUTURA), após usinar 1000 roscas, com uma velocidade de corte de 37,5 m/min. Verifica-se que a superfície de folga do macho encontra-se bastante gasta, havendo inclusive destacamento do substrato. Essa avaria no macho pode comprometer o acabamento da rosca fabricada e o aumento do torque no rosqueamento aumenta consideravelmente, podendo inclusive quebrar a ferramenta.

Cabe ressaltar que além do mecanismo de deformação plástica que levou ao rasgamento de alguns filetes das ferramentas utilizadas, outros dois mecanismos de desgaste, a abrasão e a adesão, estiveram presentes e foram verificadas nas análises no MEV. Na verdade o que parece ocorrer é uma evolução dos mecanismos abrasivo e adesivo para a deformação plástica com o decorrer da usinagem. Ou seja, a ferramenta em um estado avançado de desgaste, provocados pelos mecanismos adesivo e abrasivo, passa a gerar temperaturas cada vez maiores durante o corte o que resulta em uma perda de resistência do material da ferramenta e consequentemente deformação plástica do filete.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho comprovam que é possível usinar com HSC, utilizando máquina CNC que possui ciclo fixo de rosqueamento e que o revestimento das ferramentas (machos

de corte) são importantes na escolha da ferramenta, principalmente na condição à seco e com altas velocidades de corte, onde o desgaste prematuro normalmente acontece. Além disso, pode-se destacar neste trabalho que:

- As ferramentas revestidas com TINAL na condição moderada, apresentaram uma maior vida em número de furos quando comparadas com as demais condições testadas;
- As ferramentas revestidas com TiN, em altas velocidades de corte, tiveram os piores resultados em termos de número de roscas fabricadas e apresentaram, conseqüentemente os maiores índices de desgaste nos filetes do macho;
- Os mecanismos de desgaste como o adesivo, abrasivo e a deformação plástica (que gerou o rasgamento dos filetes) estiveram presentes em todas as condições testadas;
- O uso de mandril fixo para o rosqueamento é perfeitamente aplicável no rosqueamento, desde que a máquina-ferramenta possua sincronismo de velocidade de corte e avanço.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer o apoio financeiro do CNPq, CAPES e FAPEMIG, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho e a empresa OSG Ferramentas de Precisão Ltda pelo seu imenso apoio as pesquisas realizadas no LEPU.

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, n.4, Nov, pp.457-462.
- Belluco, W., Chiffre, L., 2002, "Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting oils", Tribology International 35, pp 865-870.
- Bezerra, A. A., 2003, "Estudo do Desgaste no Roscamento com Alta Velocidade em Ferro Fundido", Tese de Doutorado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- Cao, T., Sutherland, J. W., 2002, "Investigation of Thread Tapping Load Characteristics through Mechanistics Modeling and Experimentation", Journal of Machine Tools & Manufacture 42, pp 1527-1538.
- Coldwell, H., Woods, R., Paul, M., Koshy, P., Dewes, R., Aspinwall, D., 2003, "Rapid machining of hardened AISI H13 and D2 moulds, dies and press tools", Journal of Materials Processing Technology 135, pp 301-311.
- Cselle, T., 1998, "Carbide Drills: at the Peak of Developmente?". Guhing Company, 85p.
- Dunlap, C., 1997, "Should you try dry?", Cutting Tool Engineering, v.49, n.1, Feb, p.22-33.
- Harris, S. G., Doyle, E. D., Vlasveld, A. C., Audy, J., Long, J.M., Quick, D., 2003, "Influence of chromium content on the dry machining performance of cathodic arc evaporated TiAlN coatings", Wear, Vol.254, pp.185-194.
- Fantin, J. P., 1992, "Ensaio com machos: em busca de bons resultados na usiagem", Máquinas e Metais, setembro, pp 58-60
- Linss, M., 2002, "Processo de Rosqueamento de Alto Desempenho", Máquinas e Metais, dezembro, pp. 24-33.
- Müller, P., 2000, "Ferramentas para furar e rosquear com HSC e sem refrigeração", O Mundo da Usinagem – 1/2000, pp. 13 – 17.
- PalDey, S., Deevi, S.C., 2003 "Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review", Materials Science & Engineering A 342, pp 58-79.
- Reis, A . M ., 2004, "Avaliação do Desempenho de Diferentes Materiais de Ferramentas no Processo de Rosqueamento Interno de Ferro Fundido Cinzento, Através do Monitoramento do Desgaste". Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, 188p.

- Santos, S.C., 2002, “Estudo da influência de revestimentos e da aplicação de fluido de corte no desempenho de brocas de aço-rápido e de metal duro integral na usinagem de ferro fundido cinzento”, Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, 199p.
- Sha, J., Ni, J., Wu, S. M., 1990, “Development of a Tap Wear Monitoring Scheme”, In: Proceedings of Manufacturing International '90. Part 4: Advances in Materials and Automation, Atlanta, GA, USA, 1990. Proceedings. New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers (ASME), pp. 137-142.
- Schulz, H., Würz, T., 1997, “O projeto de máquinas-ferramentas tem de atender aos requisitos do HSC”, Máquinas e Metais, abril, pp. 289-293.
- Yuhara, D. A., 2000, “Aplicação de revestimentos PVD em ferramentas de corte”, site: www.brasimet.com.br, acesso em 10 de Setembro de 2005.
- Zhang, Di; Yang Fulun; Wang, Jiexin; 2003, “ Fundamental aspects in vibration-assisted tapping”, Journal of Materials Processing Technology 132, pp. 345 – 352.

STUDY ON THE PERFORMANCE OF COATED HSS TAP TOOLS WHEN CUTTING GREY CAST IRON AT HIGH CUTTING SPEEDS

Paulo Rosa da Mota

CEFET/GO – Federal Center for Technological Education of Goiás, Rua 75, Nº 46, Centro, 74130, Goiânia, Goiás, Brazil.

prmot@mecanica.ufu.br

Rafael Ariza Gonçalves

UFU – Federal University of Uberlandia, Mechanical Engineering Faculty, Campus Santa Mônica, 38400902, Uberlândia, MG, Brazil.

ltm-ariza@mecanica.ufu.br

Alexandre Martins Reis

CEFET/GO – Federal Center for Technological Education of Goiás, Rua 75, Nº 46, Centro, 74.130, Goiânia, Goiás, Brazil.

amr@cefetgo.br

Márcio Bacci da Silva

UFU – Federal University of Uberlandia, Mechanical Engineering Faculty, Campus Santa Mônica, 38400902, Uberlândia, MG, Brazil.

mbsilva@mecanica.ufu.br

Abstract. *The main objective of this work is the evaluation of the performance of HSS tap tools when cutting grey cast iron at high cutting speeds and moderate speeds. It was evaluated two HSS: one with addition of vanadium (HSS-E) and another produced by the powder metallurgy (HSS-PM). It was used two different coatings, the traditional TiN and the multilayer TiN-TiAlN. The end of tool life criterium was a test with a gauge go-no-go, the flank wear and also the catastrophic failure of the tools. Both tools and threads produced were analyzed in the SEM to discuss the wear mechanisms and details of the machined surfaces. The results suggest the following classification according the tool life: HSS-E-TiN and PM TiN at high cutting speed, PM TiN and HSS-E TiN at low cutting speed, HSS-E multilayer and PM multilayer at high cutting speed and finally HSS-E multilayer and PM multilayer at low cutting speed.*

Keywords: *Tapping, Tap tools, Coating, HSC*