

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PARADA RÁPIDA PARA OBTENÇÃO DE RAÍZES DE CAVACO NO TORNEAMENTO DO FERRO FUNDIDO NODULAR FERRÍTICO

Eliene Oliveira Lucas. elienelucas@yahoo.com.br

Walter Lindolfo Weingaertner. wlw@emc.ufsc.br

Laboratório de Mecânica de Precisão LMP/EMC – Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina - Brasil

Resumo. A visualização da formação do cavaco com câmeras de alta velocidade além de apresentar um custo relativamente elevado, só permite observar as condições externas de deformação no cavaco. Por outro lado, nenhuma informação consistente é obtida quando o processo é interrompido do modo convencional como, por exemplo, pelo desengate do avanço da ferramenta ou do eixo da máquina. Nesta condição, ou o avanço diminui gradualmente, ou a ferramenta é sujeita a uma desaceleração em relação à peça, o que não permite avaliar a formação do cavaco nas condições efetivas de trabalho. Através do método da interrupção súbita do corte, é possível “congelar” subitamente a ação contínua da formação do cavaco, possibilitando assim a obtenção de raízes de cavaco. Para retirar a ferramenta de corte, a partir do ponto de contato gume-peça, são empregados dispositivos de parada rápida (*Quick-Stop Device's*) onde a ferramenta é rotacionada pela haste e apoiada sobre um pino de cisalhamento. A aceleração da ferramenta é procedida pela explosão de pólvora numa câmara, pelo impacto de um martelo ou ainda por um dispositivo com massa acelerada através de um sistema de molas. Pelo emprego do método da interrupção súbita do corte foram obtidas raízes de cavaco no torneamento semi-ortogonal do ferro fundido nodular ferrítico; e para isto foi concebido, projetado e fabricado um dispositivo de parada rápida que utiliza uma mola de compressão como fonte de energia externa. O modelo possibilitou a obtenção de amostras de raízes de cavaco numa variação de velocidade de corte de 20 a 250 m/min.

Palavras-chave: *Dispositivo de parada rápida, Ferro fundido nodular ferrítico, Raízes de cavaco, Interrupção súbita do corte.*

1. INTRODUÇÃO

O estudo prático da formação do cavaco apresenta uma série de limitações; isto se deve em grande parte às elevadas velocidades de corte praticadas, às dificuldades de acesso à região de corte e principalmente à pequena escala na qual os fenômenos podem ser observados.^[1]

Câmeras de alta velocidade têm sido empregadas de forma a obter a visão externa da dinâmica da formação do cavaco. No entanto, não servem de demonstrativo da ação de corte na raiz do cavaco.

Outro método bastante empregado é o da interrupção súbita do corte. Neste método a ferramenta de corte é removida do ponto de contato (gume-peça) na direção efetiva da velocidade de corte, com uma velocidade de retração maior que a velocidade de corte.^[2, 3]

O método da interrupção súbita do corte, no caso particular do torneamento ortogonal, é mostrado de forma esquemática na figura 1.

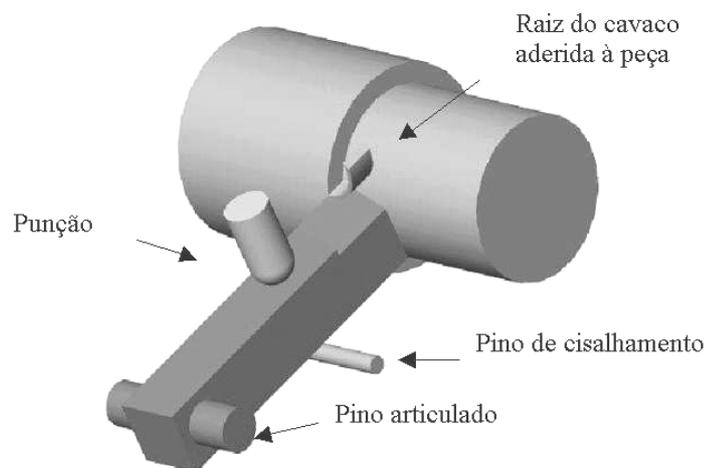


Figura 1. Esquema da interrupção súbita do processo de torneamento^[3]

Durante o corte, a ferramenta é mantida na posição de trabalho apoiada sobre um pino de cisalhamento. Quando é necessária a interrupção do corte é então ativada uma fonte de energia externa que atua sobre uma massa de impacto, que por sua vez, atua direta ou indiretamente sobre a ferramenta. A massa de impacto, na sua trajetória descendente, promove a remoção rápida da ferramenta a partir ponto de contato (gume-peça) mediante a ruptura de um pino de cisalhamento. O movimento de rotação da ferramenta é feito por um pino articulado inserido na haste da ferramenta^[3].

A velocidade de saída do gume, a partir do ponto de contato com a peça, não atinge instantaneamente a velocidade de corte; isto se deve em grande parte à inércia do sistema. Para minimizar o tempo de retração da ferramenta procura-se na prática adequar a massa de impacto do punção para maximizar a velocidade de impacto.^[3]

2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Concepção de um Dispositivo de Parada Rápida

Para assegurar uma boa repetitividade do impacto da massa (punção) contra a haste da ferramenta o dispositivo de parada rápida deve apresentar as seguintes características:^[4, 5, 6]

- Construção, manejo simples e baixo custo.
- Boa rigidez estática e dinâmica, para que não ocorram modificações nas condições normais de rigidez do sistema máquina-ferramenta-peça.
- Favorecer a execução de ensaios em uma grande faixa de velocidades de corte.

Vários tipos e diversas montagens de dispositivos de parada rápida têm sido propostos na literatura, e um dos arranjos mais bem sucedidos utiliza uma arma de fogo, cujo impacto do projétil permite afastar a ferramenta de corte com uma aceleração limitada.^[7]

Modelos que utilizam como fonte de energia externa a energia gerada por explosivos além de serem complexos quanto ao aspecto construtivo como, por exemplo, a necessidade de uma câmara de explosão, oferecem ainda uma série de riscos de segurança na operação.^[4, 5, 6]

Alguns modelos de acionamento mecânico utilizam como fonte de energia externa a gerada pelo impacto de um martelo que atua diretamente sobre um punção. Este por sua vez transfere a energia para a ferramenta promovendo sua retirada da região de corte.

No modelo proposto a função da mola é armazenar energia que ao liberá-la deve promover o deslocamento de uma massa (punção). A massa é acelerada, e na sua trajetória descendente colide contra a haste da ferramenta promovendo a ruptura do pino de cisalhamento, localizada sob a haste da ferramenta. A energia restante deve ser suficiente para que a haste da ferramenta se afaste do ponto de contato com a peça com elevada aceleração.^[7]

3. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

3.1 Concepção e Projeto do Dispositivo De Parada Rápida

3.1.1 A Estrutura

Dada às limitações encontradas para a fabricação de uma estrutura integral, optou-se por uma estrutura modular. O esquema de montagem das laterais sobre a base é mostrado na figura 2.

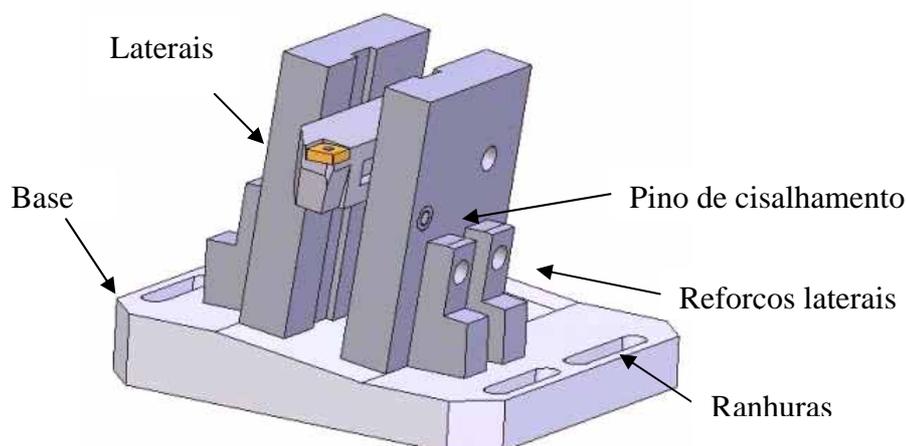


Figura 2. Esquema geral de montagem da estrutura

As laterais do dispositivo de parada rápida (figura 2) foram montadas em paralelo sobre a base inclinada e a fixação feita por parafusos. Foi prevista a montagem de reforços entre a base e as paredes laterais.

A base de apoio, a partir da qual é erguida toda estrutura do dispositivo de parada rápida, apresenta ranhuras para facilitar o ajuste na montagem. Uma inclinação de 7° foi prevista de forma a evitar o contato (raspagem), do gume da ferramenta na peça durante a interrupção do corte. A compensação da inclinação da base foi feita na base de assento da pastilha, de forma a assegurar a geometria de corte.

O pino de articulação é inserido com interferência na haste da ferramenta e suas extremidades são apoiadas em rolamentos montados nas paredes laterais. O pino de cisalhamento tem suas extremidades apoiadas em buchas inseridas nas paredes laterais. A figura 3 mostra, de forma esquemática, a montagem do pino de articulação e do pino de cisalhamento.

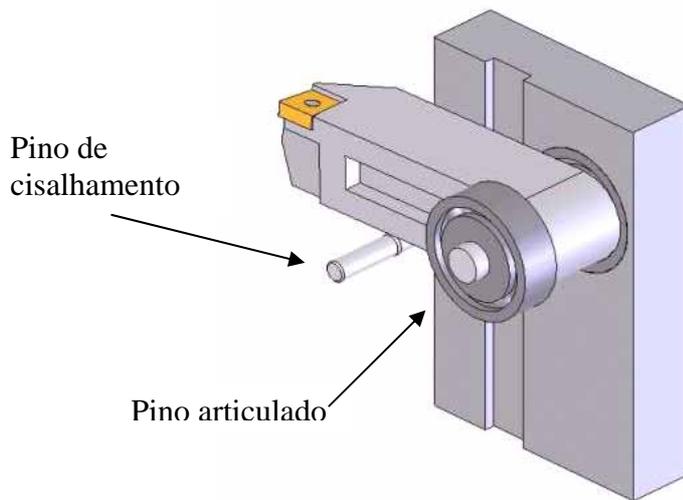


Figura 3. Esquema de posicionamento do pino de articulação e de cisalhamento

O tipo de rolamento empregado é da série 03 (rígido de esferas) com diâmetro interno igual a 10 mm, diâmetro externo igual a 35 mm e fator de carga igual a 6,23 kN.

3.1.2 O Sistema de acionamento

A função da mola no sistema é armazenar energia. A liberação desta deve promover o deslocamento de uma massa que, ao colidir contra o suporte da ferramenta, promova a rotação deste, em torno do pino articulado. Como consequência a saída do gume, a partir do ponto de contato com a peça, ocorre com uma grande aceleração.

A mola foi montada dentro de um tubo, cuja função é direcionar a massa de impacto e encerrar o sistema de acionamento por questões de segurança. A figura 4 mostra de forma esquemática a montagem geral do conjunto na máquina-ferramenta.

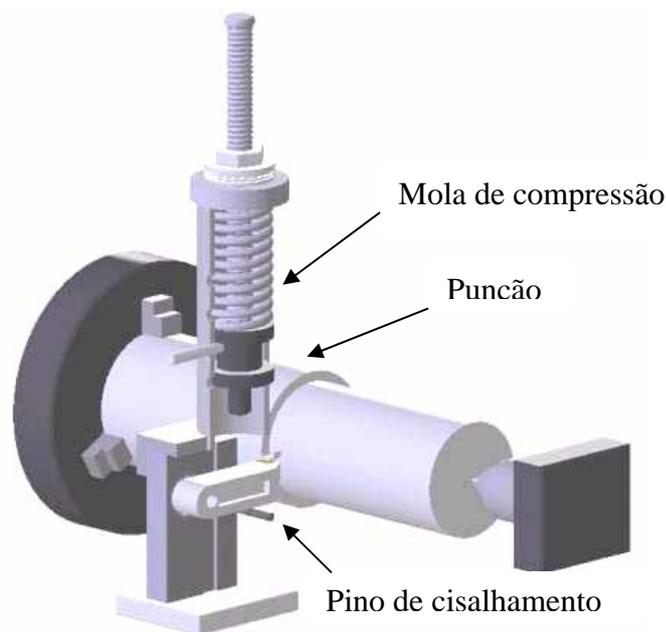


Figura 4. Esquema de montagem do modelo na máquina-ferramenta

Para a compressão da mola a massa de impacto é fixada (rosqueada) na extremidade de um fuso. Travas laterais se deslocam dentro dos rasgos feitos nas laterais do tubo impedem a rotação da massa durante o estágio de compressão da mola.

O fuso juntamente com a massa de impacto é tracionado por uma porca, que é montada sobre a tampa do dispositivo. Quando a mola é comprimida a massa de impacto é travada. A porca é então liberada de forma que o fuso possa ser removido da massa de impacto. A massa de impacto e a mola são apoiadas somente na trava. O disparo é efetuado retirando-se a trava manualmente.

A massa de impacto, que se desloca no interior do tubo, deve atingir a extremidade livre da haste da ferramenta e transferir o máximo de sua energia para o suporte da ferramenta. A parcela de energia não transferida para o suporte deverá ser absorvida pela estrutura do dispositivo.

Na prática esta concepção idealizada apresenta limitações práticas. A massa de impacto deve apresentar dimensões da ordem do diâmetro interno do tubo e o suporte da ferramenta deve apresentar dimensões adequadas para suportar os esforços na usinagem.

A saída da ferramenta de forma linear torna a concepção do dispositivo de parada rápida pouco prática e, desta forma, optou-se por um suporte de ferramenta rotulado. Para um choque perfeitamente elástico a direção da velocidade de saída da ferramenta de corte, no instante imediato após o impacto coincide com a direção da velocidade da massa de impacto.

A estimativa da velocidade de saída da ferramenta foi feita a partir das seguintes simplificações:

- É desprezada a massa da mola.
- A massa de impacto é concentrada num ponto.
- A massa da ferramenta se concentra no ponto de impacto.

São ainda acrescentadas duas considerações no impacto da massa contra o suporte da ferramenta.

● A massa de impacto adere à massa do suporte e o conjunto se desloca mantendo a quantidade de movimento.

- O choque é perfeitamente elástico.

A energia acumulada na mola é obtida pela equação 1.

$$E_{mola} = \frac{1}{2}k \times d^2 \quad (1)$$

A energia cinética da massa de impacto, recebida da mola, é dada pela seguinte equação 2:

$$E_c = \frac{1}{2}m_p \times v_p^2 \quad (2)$$

Onde:

v_p = Velocidade da massa de impacto [m/s].

K = Constante elástica da mola [N/m].

d = Deslocamento sofrido pela mola [m].

m_p = Massa de impacto [kg].

Igualando-se as duas parcelas de energia tem-se pela equação 3:

$$\frac{1}{2}k \times d^2 = \frac{1}{2}m_p \times v_p^2 \quad (3)$$

Considerando que a massa seja igual a massa do suporte ou seja, $m_p = m_{th}$ e para uma massa de impacto igual a 0,5 kg é estimada a velocidade da massa de impacto:

$$v_p = \sqrt{\frac{kd^2}{m}} \quad (4)$$

$$v_p = \sqrt{\frac{15000 \times 0,15^2}{0,5}} \quad (5)$$

Ou seja:

$$v_p = 26 \text{ m/s} \quad (6)$$

Considerando a manutenção da quantidade de movimento:

$$m_p \times v_p + m_{th} \times v_{th} = (m_p + m_{th})v_t \quad (7)$$

Onde:

v_t = velocidade de retração da ferramenta [m/s].

m_p = Massa de impacto [kg].

v_p = Velocidade da massa de impacto [m/s].

m_{th} = Massa do suporte da ferramenta [kg].

v_{th} = Velocidade do suporte da ferramenta [m/s].

$$v_t = \frac{m_p \times v_p}{m_p + m_{th}} \quad (8)$$

Como $v_{th} = 0$

$$v_t = \frac{0,5 \times 26}{0,5 + 0,5} = 13 \text{ m/s} \quad (9)$$

Num choque elástico a energia cinética da massa de impacto é transferida para o suporte da ferramenta, de forma que a energia cinética deste se iguale à energia cinética da massa de impacto:

$$\frac{1}{2} m_p v_p^2 = \frac{1}{2} m_{th} v_{th}^2 \quad (10)$$

$$v_{th} = \left(\frac{m_p}{m_{th}} \right)^{1/2} \times v_p \quad (11)$$

Se a massa de impacto for igual à massa do suporte, a velocidade de saída do suporte será aproximadamente de 26 m/s.

Se a massa de impacto for muito pequena em relação a massa do suporte ela sofrerá um choque elástico, retornando com velocidade igual e em sentido contrário. Se a massa de impacto for maior que a massa do suporte, a massa continuará se deslocando e a massa do suporte é acrescida à massa do sistema. São então válidas as leis da manutenção da quantidade de movimento.

Se as massas forem aproximadamente iguais prevalecem as condições de choque elástico.

Uma estimativa de velocidades para um choque elástico ideal (26 m/s) e manutenção da quantidade de movimento (13 m/s) atende à exigência para a velocidade de corte pretendida (> 250 m/min).

Como as equações empregadas são para sistemas ideais e considerando ainda que uma parcela da energia do sistema é necessária para romper o pino de cisalhamento, estimou-se um fator de perdas $\eta = 40 \%$.

Nos ensaios para obtenção de raízes de cavaco foram previstas velocidades de corte dentro da variação de 20 a 250 m/min. Considerando uma perda de energia da ordem de 40% da energia total, e com um emprego de um porta-ferramenta com uma massa em torno de 0,5 kg, a velocidade de retração da ferramenta é maior que a velocidade máxima pretendida.

3.2 A Fabricação

A fabricação de grande parte das peças que constituem o dispositivo de parada rápida envolveu etapas de furação, fresamento, torneamento e retificação.

Os elementos (pinos, buchas e punção), conforme mostra a figura 5, foram submetidos etapas de tratamento térmico de forma a alcançar níveis de resistências satisfatórios.



Figura 5. Pinos de cisalhamento, buchas e punção

As buchas, fabricadas em aço AISI 8640, foram fabricadas com pequeno aumento no diâmetro externo, em uma das bordas, de forma a facilitar sua extração. Os pinos de cisalhamento foram fabricados em aço AISI 52100 e os entalhes foram feitos nas extremidades, de forma que a fratura ocorresse nesta região. Após o tratamento térmico os pinos foram retificados, de forma a melhorar a superfície e facilitar o ajuste na montagem (nas buchas). A massa de impacto foi fabricada em aço AISI 4340; sua geometria foi feita de forma a assegurar que esta fosse direcionada, minimizando assim o efeito do atrito com as paredes do tubo.

Foi empregada uma mola de compressão com uma constante $K=15$ N/mm, comprimida a 150 mm; com as seguintes características: diâmetro do arame 8 mm, diâmetro externo 52 mm, número de espiras 30 e altura 430 mm.

A estrutura de fabricação do dispositivo de parada rápida é mostrada (de forma parcial) na figura 6.



Figura 6. Dispositivo de parada rápida

3.3 Ensaios para Obtenção de Raízes de Cavaco

Foram empregados insertos de metal-duro (Sandvik-Coromant), sendo obtida a seguinte geometria final de montagem da pastilha (CCMW 09T3 04) no suporte $\alpha_0 = 0^\circ$, $\gamma_0 = 7^\circ$, $\lambda_0 = 0^\circ$, $\kappa_0 = 95^\circ$ e $r_e = 4$ mm.

Como material de peça foi utilizado o ferro fundido nodular ferrítico, classificado pelas propriedades mecânicas (norma DIN 1663) em GGG 42. Os corpos de prova foram previamente preparados (desbastados) e foram executadas ranhuras escalonadas ao longo dos seus comprimentos, possibilitando assim obter numa única passada uma seqüência de raízes sem a necessidade de retirada do corpo de prova da máquina-ferramenta.

Os ensaios foram realizados num Torno Convencional, ROMI I 45, para velocidades de corte e avanços variados.

Procedeu-se a execução dos ensaios de interrupção do corte com emprego do dispositivo de parada rápida. As raízes obtidas foram então removidas com auxílio de uma serra manual e na seqüência foram realizadas aquisições de imagens através de microscopia eletrônica de varredura.

No início de uma nova etapa para obtenção da raiz de cavaco um novo pino de cisalhamento era montado sobre as buchas embutidas nas paredes laterais e o porta-ferramenta era novamente reposicionado.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 7 e 8 mostram as fotografias das raízes de cavaco obtidas, por microscopia eletrônica de varredura, para as velocidades de corte $v_c = 80$ e 200 m/min e avanços $f = 0,2$ e $0,3$ mm respectivamente.

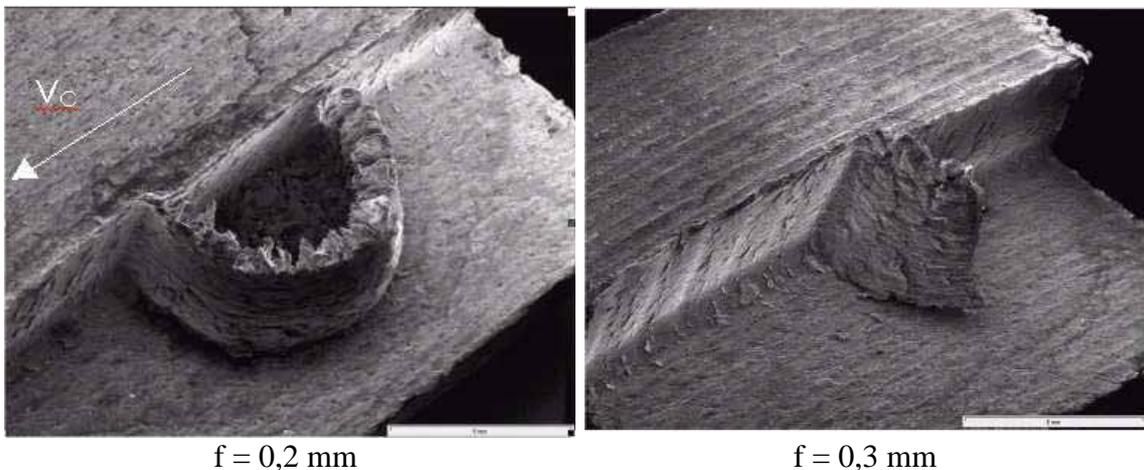
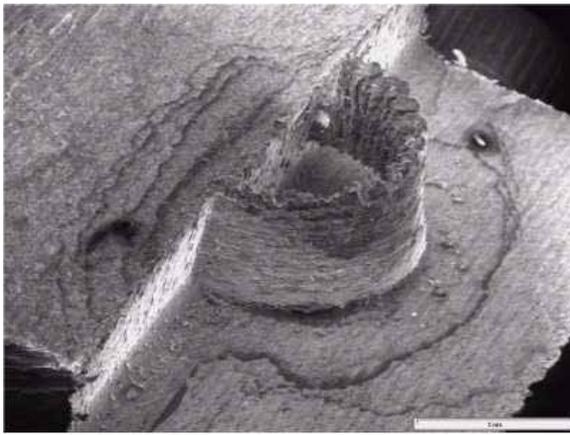
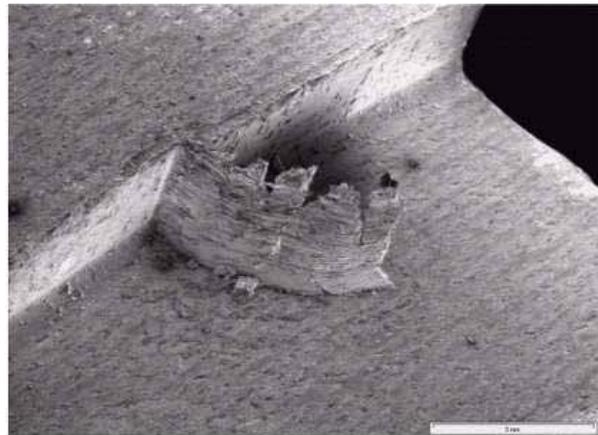


Figura 7 .Raiz do cavaco do ferro fundido nodular ferrítico GGG 42
(Condição de corte: $v_c = 80$ m/min; $a_p = 2$ mm)



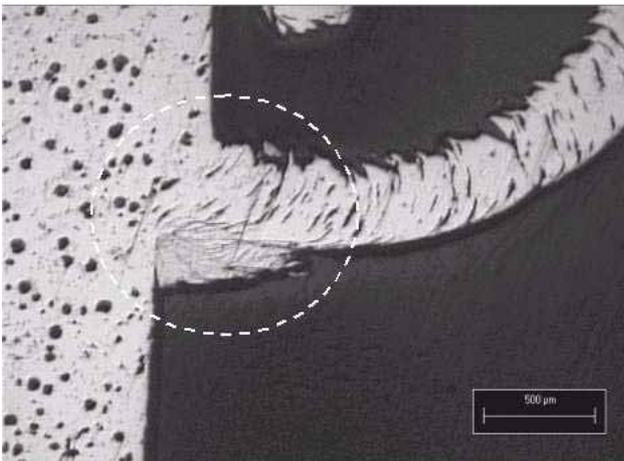
$f = 0,2 \text{ mm}$



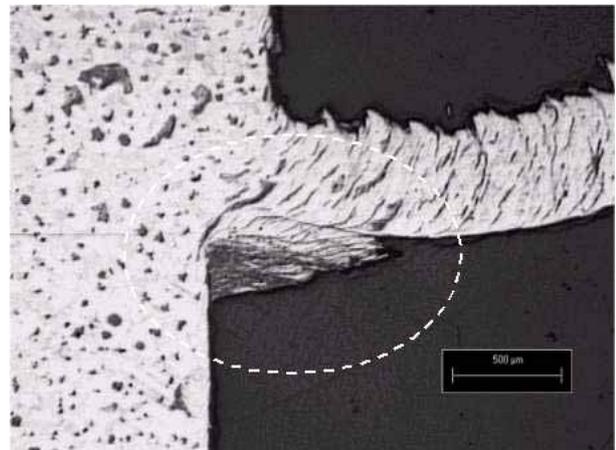
$f = 0,3 \text{ mm}$

Figura 8. Raiz do cavaco do ferro fundido nodular ferrítico GGG 42
(condição de corte: $v_c = 200 \text{ m/min}$; $f = 0,2 \text{ mm}$ e $a_p = 2 \text{ mm}$)

As figuras 9 e 10 mostram as seções das raízes de cavaco obtidas para as velocidades de corte $v_c = 20 \text{ m/min}$ e 40 m/min , avanços $f = 0,2$ e $0,3 \text{ mm}$ respectivamente e profundidade de corte $a_p = 2 \text{ mm}$, onde foi observada a presença do gume postiço nas interfaces.

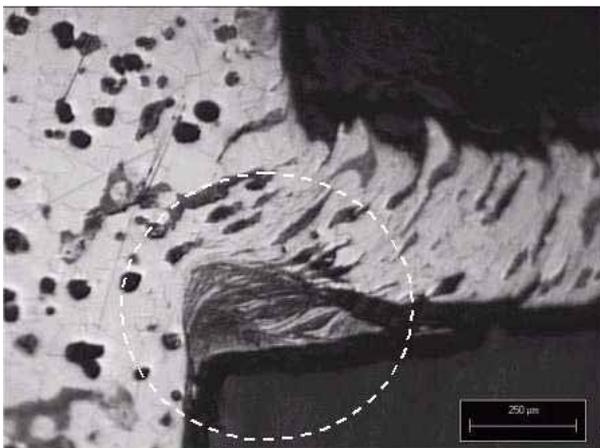


$v_c = 20 \text{ m/min}$, $f = 0,2 \text{ mm}$ e $a_p = 2 \text{ mm}$

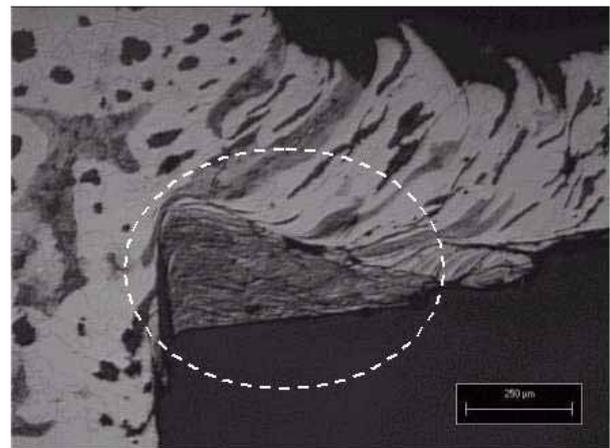


$v_c = 20 \text{ m/min}$, $f = 0,3 \text{ mm}$ e $a_p = 2 \text{ mm}$

Figura 9. Seções de raízes de cavaco do ferro fundido nodular ferrítico GGG 42



$v_c = 40 \text{ m/min}$, $f = 0,2 \text{ mm}$ e $a_p = 2 \text{ mm}$



$v_c = 40 \text{ m/min}$, $f = 0,3 \text{ mm}$ e $a_p = 2 \text{ mm}$

Figura 10. Seções de raízes de cavaco do ferro fundido nodular ferrítico GGG 42

4. CONCLUSÕES

O dispositivo de parada rápida proposto se mostrou de fácil operação e de boa repetibilidade, e possibilitou a obtenção de raízes na faixa de velocidade de corte de 20 a 250 m/min. A boa repetitividade nos ensaios foi confirmada na semelhança entre raízes de cavaco obtidas quando repetidos os ensaios.

As buchas apresentaram desgaste excessivo e, com a elevada energia gerada pelo impacto do pino de cisalhamento, freqüentemente engastavam na estrutura, o que dificultava a extração. Os pinos de cisalhamento apresentaram desempenho extremamente satisfatório. A fratura (do tipo frágil) ocorreu exatamente nos concentradores de tensão (entalhes). O punção empregado apresentou desempenho satisfatório, tanto na geometria quanto no nível de resistência mecânica alcançado pelo tratamento térmico. Marcas bem localizadas no ponto de contato com a ferramenta comprovam que o impacto foi direcionado sobre a ferramenta.

Observações das fotografias das seções das raízes de cavaco, obtidas para as velocidades de corte 20 m/min e 40 m/min e para avanços 0,2 e 0,3 mm, revelaram a presença do gume posticho na interface. Na prática a configuração do gume posticho varia em função da condição de corte empregada.

5. AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Eng. Álisson Rocha Machado, do Laboratório de Pesquisas em Usinagem do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia pelas informações iniciais.

Ao professor Dr-Ing. Gunter Höhne e a equipe do Werkstoffe 1 por viabilizarem a execução de experimentos (aquisição de imagens via MEV) na Universidade Técnica de Ilmenau -TU-Ilmenau.

As empresas parceiras SANDVIK, FUNDIÇÃO TUPY, WEG e ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina pelo fornecimento de ferramentas de corte, material de ensaio, manutenção da infra-estrutura e componentes necessários para o desenvolvimento do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- 1 TRENT, E. M., WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4 ed. London: Butterworth Heinemann, 2000. 446 p.
- 2 MICHELETTI, G. F. **Mecanizado por Arranque de Viruta**. 1ed. Barcelona: Blume, 1980. 426 p.
- 3 CHILDS, T. H. C.; MAEKAWA, K.; OBIKAWA, T. **Metal Machining**. Theory and applications. 1 ed. New York: J. Wiley, 2000. 198 p.
- 4 SWEE-HOCK, Y.; WOEI-WEN, L. A *Quick-Stop* device for orthogonal machining. **Journal of Materials Processing Technology**. p. 41-46, 1992.
- 5 SATHEESHA, M.; JAIN, V. K. Design and development of a Quick-Stop device. **Precision Engineering**. v. 12, n. 4, p. 205-212, oct. 1990.
- 6 KOPAC, J.; DOLINSEK, S. Advantages of experimental research over theoretical models in the field of metal cutting. **Experimental Techniques**, p. 24-28, jun. 1996.
- 7 LUCAS, E. O. **Desenvolvimento de um dispositivo Quick-Stop e sua aplicação no estudo da formação do cavaco na usinagem do ferro fundido nodular ferrítico**. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

DEVELOPMENT OF A QUICK-STOP DEVICE FOR TURNING OPERATION

Eliene Oliveira Lucas. elienelucas@yahoo.com.br

Walter Lindolfo Weingaertner. wlw@emc.ufsc.br

Precision Mechanical Laboratory LMP/EMC – Federal University of Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina - Brasil

Abstract: *The nature of the interface, established between a cutting tool and the workpiece, is fundamental to the understanding of the machining process. The complete knowledge of this interface will contribute significantly to a more pragmatic utilization of the new generation of tool materials. The Quick-Stop technique is a well-established research tool for fundamental studies of the chip roots. This technique effectively “freezes” the interface between the cutting tool and the workpiece. The specimens, chip-roots, remain attached to the workpiece, which can then be sectioned for detailed examinations by scanning electron microscopy. The Quick-Stop device, enables cutting to be stopped very quickly, leaving the chip attached to the workpiece. This paper reports on an easy-to-operate and fast retracting Quick-Stop device, for use on a conventional lathe, which can be set-up conveniently for experimental investigations. The proposed device that has been designed, fabricated and tested uses a simple concept; the energy stored by a compressing spring as a external power source. The device designed must be able to operate under practical cutting conditions of a cutting speed of up to 250 m/min in conventional turning process. Using this device, semi-orthogonal cutting experiments were conducted on turning of ferritic nodular cast iron and the chip roots were collected under different cutting conditions ($20 < v_c < 250$ m/min).*

Keywords: *Quick-Stop device, Chip roots, Cutting mechanisms, Quick-Stop tests.*