

# TORNEAMENTO DO FERRO FUNDIDO NODULAR COM FERRAMENTAS DE METAL-DURO REVESTIDO E CERÂMICA

**José Gomes da Silva**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Amazonas, 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte MG, 30.510-000, Brasil, jgomes@des.cefetmg.br

**Alexandre Mendes Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, 31.550-320, Brasil, abrao@ufmg.br

**Resumo:** *este trabalho tem por objetivo investigar a usinabilidade do ferro fundido nodular DIN GGG40 durante o torneamento contínuo a seco com ferramentas de metal-duro revestido e de alumina mista. Vida de ferramenta, mecanismos de desgaste e acabamento da superfície usinada foram avaliados. De um modo geral, os resultados indicaram que vida de ferramenta mais longa foi obtida empregando-se a ferramenta de metal-duro com revestimento de TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN, ao passo que valores mais baixos de rugosidade foram proporcionados pela ferramenta cerâmica.*

**Palavras-chave:** *ferro fundido nodular, meta- duro, cerâmica e torneamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Lerner e Kingsbury<sup>(1)</sup>, o ferro fundido nodular caracteriza-se por apresentar excelente resistência mecânica e ductilidade e possuir menor custo de processamento e por isso é capaz de substituir alguns tipos de aços e o ferro fundido cinzento na maioria de suas aplicações na indústria automotiva, tais como, mancais, virabrequins, cubos de roda, caixas de diferencial, peças de transmissão de automóveis, caminhões e tratores. Além disso, o ferro fundido nodular tem sido muito empregado pela indústria por apresentar menor relação entre superfície e volume quando comparado a outros ferros fundidos temperados e ao aço fundido para situações onde são exigidas propriedades de alta resistência e boa tenacidade.

Além da influência da própria matriz ou a porcentagem relativa de ferrita e perlita presentes, os veios de grafita (quantidade, distribuição e tamanho) também são fatores importantes na usinabilidade do material. Os veios de grafita introduzem descontinuidades na matriz do metal, agindo como quebra-cavacos, American Society for Metals<sup>(2)</sup>. No ferro fundido nodular a grafita se apresenta na forma esferoidal, não interrompendo a continuidade da matriz tanto quanto a grafita em veio, resultando em melhores ductilidade e tenacidade. A grafita na forma esferoidal é obtida pela adição de magnésio ou cério ao metal fundido.

Os ferros fundidos são tidos como materiais que apresentam uma boa usinabilidade, principalmente os cinzento e nodulares de menor dureza e resistência. Para Heath<sup>(3)</sup>, a microestrutura do ferro fundido cinzento é o principal indicador de sua usinabilidade. O ferro fundido apresenta uma estrutura em que a matriz é ferrítica ou ferrítico-perlítica. Conforme Ezugwu et al.<sup>(4)</sup>, uma redução no teor de ferrita livre ou um refinamento do espaçamento da perlita lamelar reduzem a usinabilidade.

Um estudo realizado por Bhattacharyya et al.<sup>(5)</sup> mostrou que durante o torneamento contínuo a seco do ferro fundido cinzento, as cerâmicas mistas têm melhor desempenho que cerâmicas puras e a base de nitreto de silício. Já no caso específico do ferro fundido G17, Ezugwu e Tang<sup>(6)</sup> observaram que ferramentas de inserto redondo e romboidal de alumina mista ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ ) geralmente produzem superfícies de melhor acabamento que alumina branca ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ ), por causa de sua superior dureza a quente, tenacidade à fratura e resistência ao desgaste.

Após investigar a usinabilidade do ferro fundido nodular austemperado, Seah e Sharma<sup>(7)</sup> concluíram que o aumento da temperatura do tratamento térmico afeta positivamente a usinabilidade (potência de usinagem) do material devido à redução de dureza. Já a composição química (teor de níquel) apresenta influência secundária.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ferro fundido nodular utilizado neste trabalho (DIN GGG40), foi fornecido pela empresa TEKSID do Brasil Ltda. A análise química das amostras indicou a seguinte composição: 3,60% C, 2,56% Si, 0,27% Mn, 0,02% Cr, 0,17% Cu, 0,02% Sn, 0,011% S, 0,048% P, 0,02% Ti, 0,01% Mo e Fe para balanço. Os corpos de prova sofreram tratamento térmico de recozimento na temperatura de 750°C durante 2 horas em um forno elétrico seguido de resfriamento até a temperatura ambiente dentro do forno para obtenção de uma microestrutura mais homogênea. O levantamento de dureza dos corpos de prova indicou um valor médio de 165 ±5 HB.

As ferramentas de corte utilizadas nos ensaios foram de metal-duro com dois revestimentos distintos e de alumina mista. Para as condições de corte impostas a classe de metal-duro recomendada é do grupo ISO K. O primeiro inserto escolhido foi Sandvik GC3015 com geometria ISO SNMG 120408-QM, com duas camadas de revestimento aplicada pelo processo CVD: uma camada interna de carbonitreto de titânio (TiCN) e uma camada externa de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). O segundo inserto escolhido também está classificado como Sandvik GC3015 e possui geometria SNMG 120408-KM. Além de diferenças na geometria dos quebra-cavacos, esta classe possui o seguinte revestimento triplo depositado por CVD: camada interna de TiCN, camada intermediária de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e camada externa de nitreto de titânio (TiN). Doravante a ferramenta de metal-duro com revestimento duplo será denominada “metal-duro QM” (em função da geometria do quebra-cavaco) e a pastilha de metal-duro com revestimento triplo será denominada “metal-duro KM” pela mesma razão.

Os insertos de alumina mista (70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 30% TiC) são da classe Sandvik CC650 com geometria ISO SNGA 120408 T01020. Nota-se pelo código que esta ferramenta apresenta chanfro de 0,1mm x 20° e não possui quebra-cavacos. O suporte porta-ferramenta utilizado é o mesmo para os três tipos de insertos e seu código ISO é PSDNN 2525M12, o que garante a seguinte geometria: ângulo de posição principal  $\chi_r = 45^\circ$ , ângulo de ponta  $\epsilon_r = 90^\circ$ , ângulo de inclinação  $\lambda_s = -6^\circ$ , ângulo de folga do inserto  $\alpha_o = -6^\circ$ , ângulo de cunha  $\beta_o = 90^\circ$  e ângulo saída  $\gamma_o = -6^\circ$ .

Os experimentos foram executados em um torno (5,5 kW e 3500 rpm) equipado com comando numérico computadorizado. Todos testes foram realizados sem fluido de corte. Para medição do desgaste de flanco das ferramentas de corte foi utilizado um microscópio Mitutoyo modelo TM 505, equipado com micrômetros digitais de resolução milesimal. As formas e mecanismos de desgaste foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL modelo JSM5310. A rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) das superfícies usinadas foi medida com um rugosímetro portátil Mitutoyo, modelo SurfTest 301.

Inicialmente foram realizados testes utilizando apenas o inserto de metal-duro QM, visando avaliar a influência dos seguintes parâmetros: velocidade de corte ( $v_c = 200, 250$  e  $300\text{m/min}$ ), avanço ( $f = 0,1, 0,25$  e  $0,4\text{mm}$ ) e profundidade de corte ( $a_p = 0,5$  e  $1,5\text{mm}$ ). Em seguida foram realizados testes adicionais com o inserto de metal-duro KM e de alumina mista CC650 para fins comparativos. Os testes foram realizados de acordo com a norma ISO 3695<sup>(8)</sup> adotando-se um critério de fim de vida baseado em um desgaste de flanco médio  $VB_B = 0,5\text{mm}$  [8]. Caso este critério não fosse atingido após 30 minutos, o teste seria encerrado. A rugosidade da superfície usinada foi

medida durante a execução dos testes de vida de ferramenta. O parâmetro adotado foi a rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) e utilizou-se um comprimento de amostragem de 0,8mm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as curvas de vida da ferramenta de metal-duro QM na qual é possível avaliar simultaneamente a influência da velocidade de corte e do avanço. Conforme esperado, uma elevação da velocidade de corte ou do avanço resulta em redução do tempo de vida da ferramenta. Observa-se ainda que para  $f=0,25$  e  $0,4$ mm, um aumento de  $v_c$  de 200 para 250m/min pouco afeta a vida da ferramenta. Por outro lado, um aumento do avanço de 0,1 para 0,25mm, provoca uma redução na vida da ferramenta de aproximadamente 46% para a velocidade de corte de 200m/min. A Figura 2 indica que para  $v_c=300$  m/min o metal-duro KM propicia uma vida de ferramenta mais longa independentemente do avanço empregado.

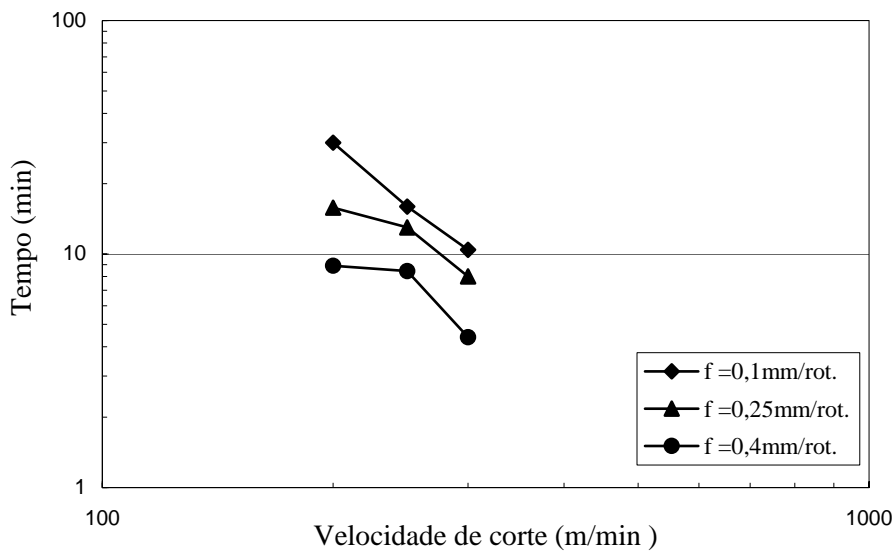


Figura 1. Curvas de vida do metal-duro QM para  $a_p = 0,5$  mm.

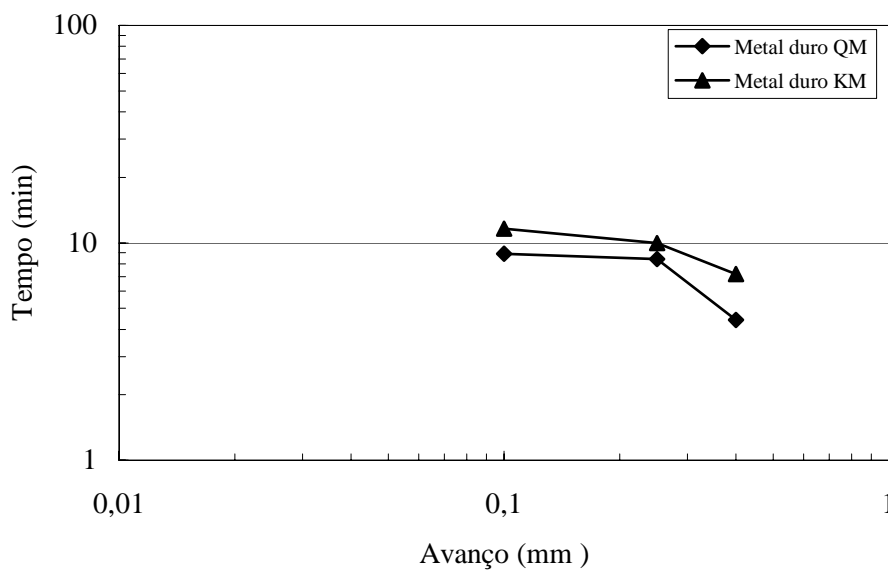


Figura 2. Curvas de vida dos inserts de metal-duro QM e KM para  $v_c = 300$ m/min e  $a_p = 0,5$  mm.

Tal comportamento pode ser atribuído à presença do revestimento externo de TiN no metal-duro KM e às diferenças na geometria dos quebra-cavacos.

A Figura 3 apresenta as curvas de vida comparativas para os insertos de metal-duro QM e KM e alumina mista CC650, mantendo-se constante  $f=0,1\text{mm}$  e  $a_p=0,5\text{ mm}$ . Nota-se que o inserto de metal-duro KM apresenta inclinação menor que o inserto de metal-duro QM e alumina mista CC650 sob as velocidades de corte  $v_c=250$  e  $300\text{m/min}$ , sugerindo um comportamento mais estável, apesar de para a velocidade de corte de  $250\text{m/min}$  constatar-se uma superioridade da ferramenta de metal-duro QM. É provável que para as velocidades de corte de  $350$  e  $400\text{ m/min}$  o desempenho do metal-duro QM seja inferior ao da cerâmica mista, entretanto, o mesmo não pode ser dito a respeito do metal-duro KM. Este resultado é uma importante contribuição para o setor industrial, seja pelo aspecto da seleção das ferramentas de metal-duro e alumina mista, seja pela determinação das velocidades de corte sob as quais estas ferramentas devam trabalhar no torneamento de ferro fundido nodular DIN GGG40.

A Figura 4 apresenta micrografias das arestas de corte tiradas ao final dos testes de vida de ferramenta. A Figura 4(a) mostra o desgaste do metal-duro QM sob  $v_c=250\text{ m/min}$ ,  $f=0,1\text{ mm}$  e  $a_p=0,5\text{ mm}$  após  $15,8$  minutos de corte. Nota-se uma cratera pouco acentuada em virtude da condição de corte moderada. Além disso, o aspecto da região desgastada sugere mecanismos de difusão na superfície de saída e abrasão na superfície de folga. Já a Figura 4(b) mostra o mesmo material utilizado sob  $v_c=300\text{m/min}$ ,  $f=0,4\text{mm}$  e  $a_p=1,5\text{mm}$ . Após  $6,1$  minutos de corte observa-se o afastamento da cratera em relação à aresta de corte em virtude da elevação do avanço, todavia não se nota modificações significativas nos mecanismos envolvidos.

As Figuras 4(c) e 4 (d) mostram, respectivamente, as ferramentas metal-duro KM (após  $12$  minutos de corte) e cerâmica CC650 ( $10,4$  minutos) ambas testadas sob  $v_c=250\text{ m/min}$ ,  $f=0,1\text{ mm}$  e  $a_p=0,5\text{ mm}$ . Observa-se nos dois casos uma região desgastada bem inferior em comparação ao metal-duro QM, vide Figura 4(a), particularmente no que se refere à extensão da cratera. Nota-se ainda que a ferramenta cerâmica apresenta maior integridade da aresta cortante, o que implicará em melhor acabamento da superfície gerada, como será visto a seguir.

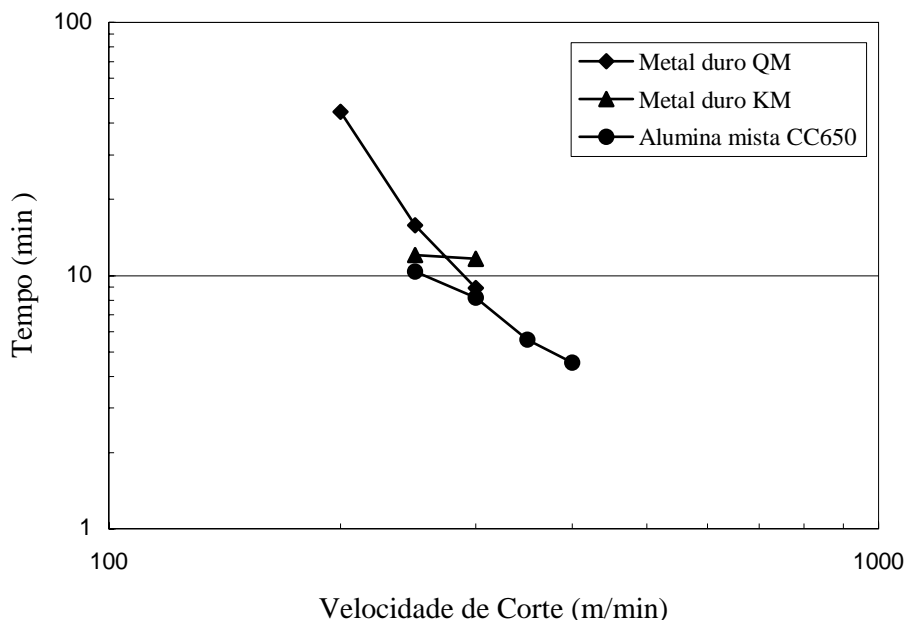
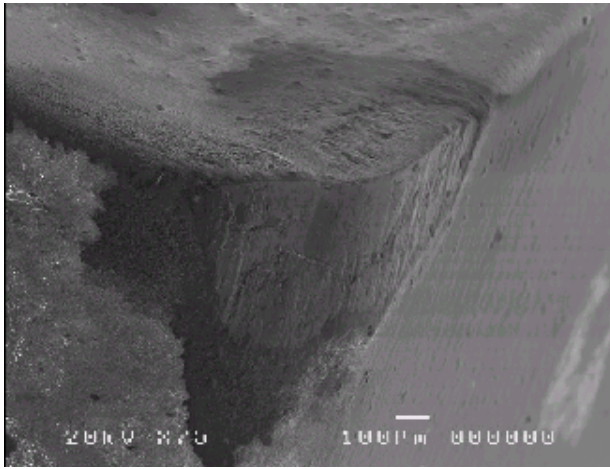


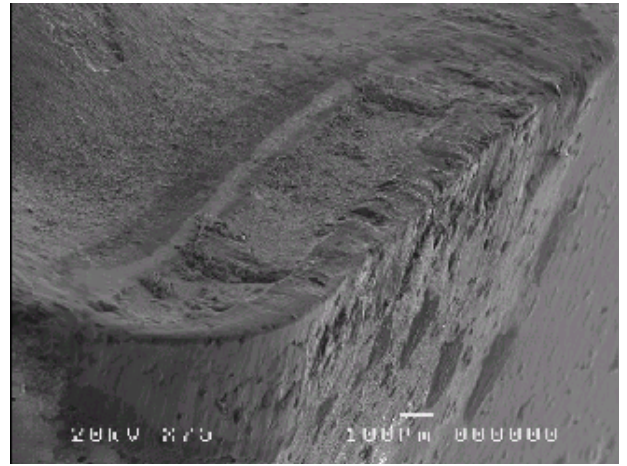
Figura 3. Curva de vida dos insertos metal-duro QM, metal-duro KM e alumina mista CC650 para  $f=0,1\text{mm}$  e  $a_p=0,5\text{mm}$ .

As Figuras 5 e 6 comparam as curvas de rugosidade média contra tempo e desgaste de flanco, respectivamente, para cada ferramenta sob velocidade de corte de  $250\text{m/min}$ , avanço de  $0,1\text{mm}$  e profundidade de corte de  $0,5\text{mm}$ . Pode-se verificar que os valores da rugosidade média crescem

com o tempo de corte e consequentemente com a evolução do desgaste de flanco médio. No caso do inserto de alumina mista CC650,  $R_a$  aumenta mais lentamente, provavelmente devido à manutenção do raio de ponta original por um período mais longo, conforme indicado na Figura 4(d).



(a) QM ( $v_c=250$  m/min,  $f=0,1$  mm e  $a_p=0,5$  mm).



(b) QM ( $v_c=300$  m/min,  $f=0,4$  mm e  $a_p=1,5$  mm).



(c) KM ( $v_c=250$  m/min,  $f=0,1$  mm e  $a_p=0,5$  mm).



(d) CC650 ( $v_c=250$  m/min,  $f=0,1$  mm e  $a_p=0,5$  mm).

Figura 4. Ferramentas de corte: (a) e (b) metal-duro QM, (c) Metal-duro KM e (d) Cerâmica CC650.

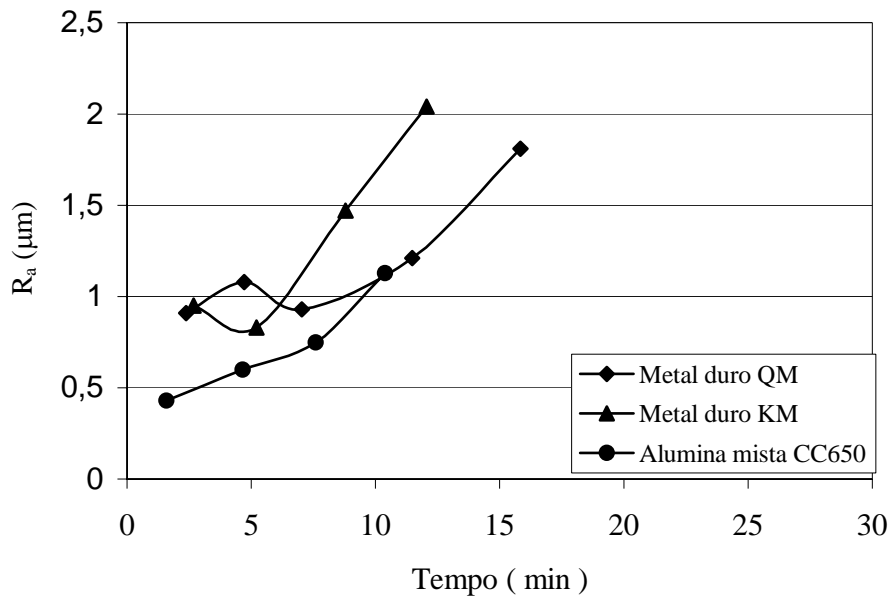


Figura 5. Rugosidade média em função do tempo para os insertos de metal-duro QM e KM e alumina mista CC650 sob  $v_c = 250$  m/min,  $f = 0,1$ mm e  $a_p = 0,5$  mm.

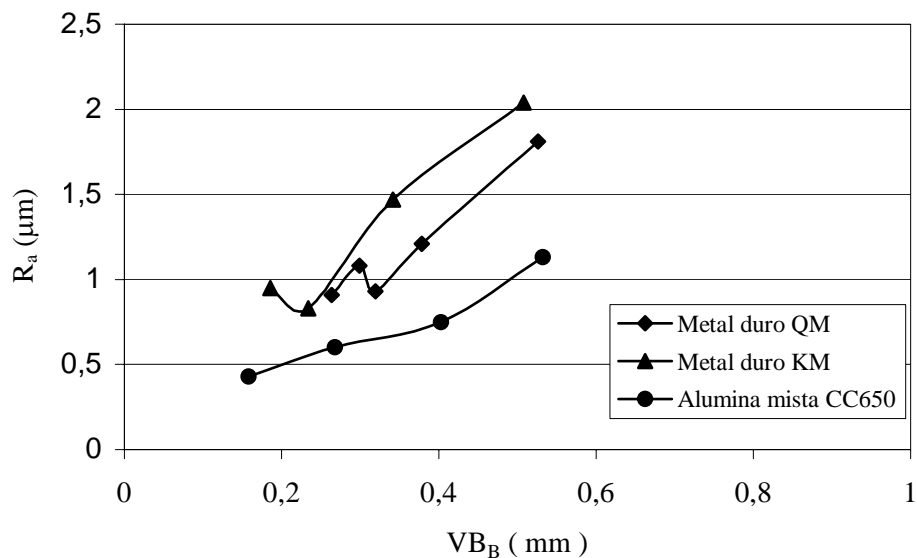


Figura 6. Rugosidade média em função do desgaste de flanco médio para os insertos de metal-duro QM e KM e alumina mista CC650 sob  $v_c = 250$  m/min,  $f = 0,1$ mm e  $a_p = 0,5$  mm.

#### 4.CONCLUSÕES

Após os ensaios de torneamento a seco do ferro fundido nodular DIN GGG40 com ferramentas de metal-duro revestido e alumina mista pode-se concluir que:

- Conforme previsto, a elevação da velocidade de corte e do avanço resultou em vida mais curta para a ferramenta de metal-duro QM. O aumento da velocidade de corte de 200 para 300 m/min resultou em uma redução de 65% na vida desta ferramenta para um avanço de 0,1 mm, ao passo que para  $f=0,4$  mm a redução de vida da ferramenta foi de 51%. Para o metal-duro KM trabalhando a uma velocidade de corte constante de 300 m/min, a elevação do avanço de 0,1 para 0,4 mm resultou em uma redução de vida de ferramenta de 38%;

- A ferramenta de metal-duro QM a uma velocidade de corte de 250m/min, avanço de 0,1mm e profundidade de corte de 0,5mm é a mais adequada para o torneamento de ferro fundido nodular DIN GGG40. Já a uma velocidade de corte de 300m/min, avanço de 0,1mm e profundidade de corte de 0,5mm a ferramenta de metal-duro KM é a mais indicada;
- Os mecanismos de desgaste mais evidentes foram abrasão e difusão;
- A ferramenta de alumina mista CC650 apresentou valores da rugosidade média inferiores ao metal-duro QM e KM, variando dentro de uma faixa de 45 a 66% daqueles oferecidos pelo metal-duro KM.

## REFERÊNCIAS

1. LERNER, Y.S. and KINGSBURY, G.R. Wear resistance properties of austempered ductile iron. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 7, n. 1, p.48-52, 1997.
2. AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals Handbook**, 9<sup>th</sup> ed. Metals Park, 1989, 944p.
3. HEATH, P.J. Ultrahard tool materials. In: METALS HANDBOOK., Metals Park, 1989, v. 16, p. 105-117.
4. EZUGWU, E.O., ARTHUR, S.J. and HINES, E.L. Tool-wear prediction using artificial neural networks. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 49, n. 3-4, p. 255-264, 1995.
5. BHATTACHARYYA, S.K., EZUGWU, E.O. and JAWAID, A. Performance of ceramic tool materials for the machining of cast iron. **Wear**, v. 135, n. 1, p. 147-159, 1989.
6. EZUGWU, E.O. and TANG, S.H. Surface abuse when machining cast iron (G-17) and nickel-based superalloy (Inconel 718) with ceramic tools. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 55, n. 2, p. 63-69, 1995.
7. SEAH, K.W. and SHARMA, S.C. Machinability of alloyed austempered ductile iron. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 35, n. 10, p. 1475-1479, 1994.
8. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3685**: Tool-life testing with single-point turning tools. Genebra, 1993, 48 p.

## TURNING OF NODULAR CAST IRON USING COATED CARBIDE AND CERAMIC TOOLING

**José Gomes da Silva**

Centre for Education in Technology of Minas Gerais, Department of Mechanical Mechanical, Av. Amazonas, 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte MG, 30.510-000, Brazil, jgomes@des.cefetmg.br

**Alexandre Mendes Abrão**

University of Minas Gerais, Department of Mechanical Mechanic, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, 31.550-320, Brazil, abrao@ufmg.br

**Abstract:** *this work deals with the machinability of GGG40 nodular cast iron when continuous dry turning using coated carbide and mixed alumina tools. Tool life, wear mechanisms and surface finish were assessed. The results indicated that, in general, longest tool life was obtained with the TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN, coated carbide, whereas best surface finish was given by the mixed alumina insert.*

**Keywords:** *cast iron, hardmetal, ceramics, turning.*