

USINAGEM DE FERRO FUNDIDO NODULAR E VERMICULAR UTILIZANDO FERRAMENTA DE ALUMINA.

Taíse Azevedo de Sousa, taiseazevedo.sousa@yahoo.com.br¹

José Vitor Cândido de Souza, candido@feg.unesp.br¹

Anna Karina Sarquis Duarte, karinasarquis@gmail.com¹

Marcelino Pereira do Nascimento, pereira@feg.unesp.br¹

Marcos Valério ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br¹

Olivério Moreira de Macedo Silva, silvaoliva@bol.com.br²

¹Unesp-FEG/Guaratinguetá-departamento de Materiais – avenoda Ariberto Pereira da Cunha,333 CEP:12516-410.

²DCTA- IAE- AMR- Pça – Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos- SP CEP:12228904.

Resumo: Na atualidade o seguimento de desenvolvimento de novos materiais tem se tornado muito importante devido a necessidade de obter materiais com altas propriedades e baixo custo. Entretanto este conjunto de necessidades quando possível fatalmente implicará em outras dificuldades como nos processos de fabricação. Neste seguimento o desenvolvimento de materiais cerâmicos para ferramentas de corte vem apresentando resultados promissores devido às cerâmicas apresentarem propriedades como alta dureza a quente, resistência à abrasão, inércia química e leveza. O objetivo deste trabalho é a comparação da usinagem do ferro fundido vermicular e nodular utilizando ferramenta cerâmica à base de alumina. No presente trabalho serão utilizados dois tipos de ferramentas cerâmicas a base de alumina desenvolvida e aplicada aos testes de torneamento realizados em ferro fundido nodular e vermicular, utilizando velocidades de corte (V_c) de 200, 300 e 400 m/min, avanço (f) de 0,10, 0,25mm/rot e profundidade de corte (ap) de 0,50mm e 1mm. As caracterizações da cerâmica serão realizadas em função dos tipos de desgastes, rugosidades (R_a e R_y) e comprimento de corte.

Palavras-chave: Ferramenta Cerâmica, Usinagem, Engenharia de Materiais, Usinagem a seco, Redução de Custos.

1. INTRODUÇÃO

Na busca do desenvolvimento de novos materiais para aplicações nas indústrias de usinagem vem sendo alvo de inovadoras pesquisas com intuito de manter a competitividade e atender as mais diversas necessidades do mercado.

Sabe-se que aproximadamente 15% do total de todos os componentes mecânicos fabricados no mundo, provêm de operações de usinagem, em virtude da grande importância econômica e técnica, esse processo ainda é definido como um dos menos compreendidos nas indústrias, o que acarreta no alto gasto com ferramentas de corte. Desta forma objetivando uma produção de elevada qualidade com reduções de custos e tempo, é o foco das pesquisas na linha de usinagem. A indústria automobilística, vem sendo destaque na busca de melhorias do seus produtos e processos com foco na redução da emissão de poluentes na atmosfera, redução de custos de manufatura e processo. Os materiais cerâmicos em especial as ferramentas de corte vêm ganhando destaque nas pesquisas por materiais mais econômicos e que apresentem grande aporte quanto a qualidade e propriedades mecânicas quando comparados aos materiais de mercado. Desenvolver ferramentas que apresentem maior vida útil é fator crucial na redução dos custos, bem como na qualidade do produto acabado de geometria complexa e com alta resistência mecânica como o ferro fundido vermicular (CGI) e o nodular para indústrias automobilísticas ⁽¹⁾. A introdução de CGI para cabeçote de motores oferece maior resistência, melhoria da combustão interna, e uma redução de peso de até 10%, quando comparada ao ferro fundido cinzento ⁽²⁾, suas propriedades são atribuídas ao fato de apresentarem partículas de grafite alongadas e orientadas aleatoriamente ^(3, 4). O ferro fundido nodular pode chegar a ter alongamento cerca de 20% dos aços fundidos, essa ductilidade elevada confere igualmente ao referido material razoável resistência ao choque e usabilidade boa comparada ao ferro fundido cinzento (Chiaverini,2007).

O presente trabalho visa à aplicação de ferramentas cerâmica à base de alumina (Al_2O_3) desenvolvidas em laboratório no torneamento do ferro fundido vermicular e nodular sem utilização do fluido de corte e analisar em função dos desgastes as rugosidades R_a e A_{ry} e comprimento de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve os procedimentos realizados para confecção das ferramentas cerâmicas de alumina, as caracterizações e testes das ferramentas todos desenvolvidos em laboratório. Por meio de estudos bibliográficos definiu-se a melhor condição para aplicação na usinagem por torneamento a seco do ferro fundido nodular e vermicular.

2.1 Fabricação e caracterização da ferramenta

As ferramentas cerâmica a base de alumina foram produzidas usando pós de alumina α (α - Al_2O_3 da Almatiss do Brasil Ltda.) e óxido de Magnésio (MgO da Magnesita do Brasil), com uma composição de 97,75% em peso Al_2O_3 e 0,25% em peso MgO com tamanho de partículas de 0,40 - 0,60 μm . As composições foram moídas/homogeneizadas individualmente em meio líquido por 24h utilizando moinho de bolas rotativo com potes e esferas de alumina. Posteriormente, os pós foram devidamente secos em estufa a 120°C, desagregados em almofariz e peneirados em malhas de 125 mesh (0,15mm). A prensagem uniaxial dos corpos a verde foram realizadas em uma matriz metálica no formato 16,36 x 16,36 x 7,50mm com carga de 80 MPa, seguida prensagem isostática com carga de 350 MPa, por 2 min. O processo de sinterização dos corpos a verde de alumina se deram em um cadinho de alumina protegido por uma cama de alumina espessa, seguido da sinterização na temperatura de 1600° C por 1h, com taxas de aquecimento de 15 °C/min até 1200 °C, 10 °C/min até 1400 °C e 5 °C/min até a temperatura final e posterior resfriamento na inércia do forno. Posterior ao processo de sinterização as ferramentas cerâmicas foram analisadas quanto à densidade relativa pelo princípio de Archimedes, sendo lixadas e polidas para análises das fases presente por difração de raios-X usando radiação Cu-K α , micrografias por microscópio eletrônico de varredura (MEV), e posterior avaliação de micro dureza e tenacidade a fratura utilizando método de indentação Vickers com carga de 20 N de acordo com as normas ASTM-C-1327-99 e ASTM-C-1421-99, respectivamente ^(5, 6).

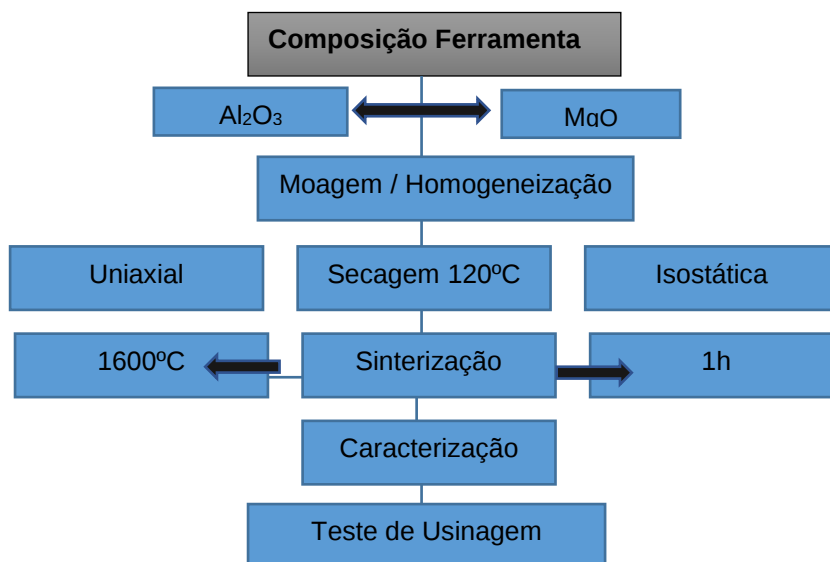
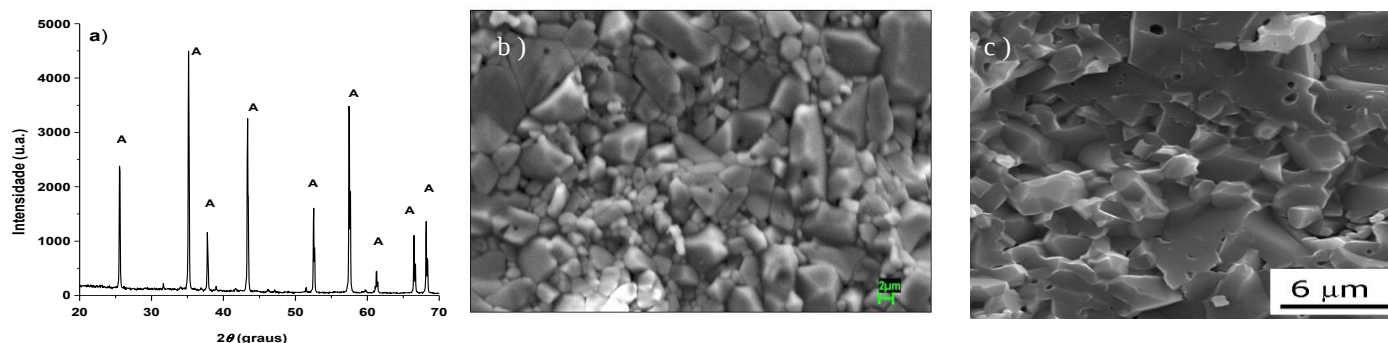


Figura1: Processo de confecção e testes da ferramenta de alumina. (fonte: Autor)

2.2 Propriedades da ferramenta à base de Al_2O_3 .

As ferramentas cerâmicas de alumina apresenta densidade relativa superior a 98,42±0,15%, propriedades mecânicas de 17,01±0,12 GPa e K_{1c} =6,8 MPam^{1/2}. A difração de raios-X apresenta fase majoritária alfa (α),

característica da alumina de alta densidade. Na Figura 2-a, pode ser observado que após a sinterização, os picos da fase α são deslocados e apresentam diferente intensidade, se comparado com o material de partida, e que pode ser confirmado na observações microestruturais, em função da distribuição e geometria dos grãos.



Figuras 2 :a) Difratoograma de raios-X da ferramenta; b) e c) Micrografias da ferramenta de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ fraturada e atacada termicamente.

3. FERRAMENTAS DE CORTE

Os inserts cerâmicos utilizados nos testes de torneamento foram desenvolvidos em laboratório, retificados e lapidados pela empresa Mapal do Brasil na geometria final de 12,7 x 12,7 x 4,76 mm, de acordo com a norma ISO 1832. O formato e dimensões foram definidos em função da resistência mecânica e necessidade específica do trabalho e em congruência com as dimensões do suporte de ferramenta.

Nas Figuras-3a, pode ser observado as fotos das ferramentas de (Al_2O_3) de geometria SNGN120408 utilizada no trabalho, Fig -3b desenho esquemático das dimensões das ferramentas.

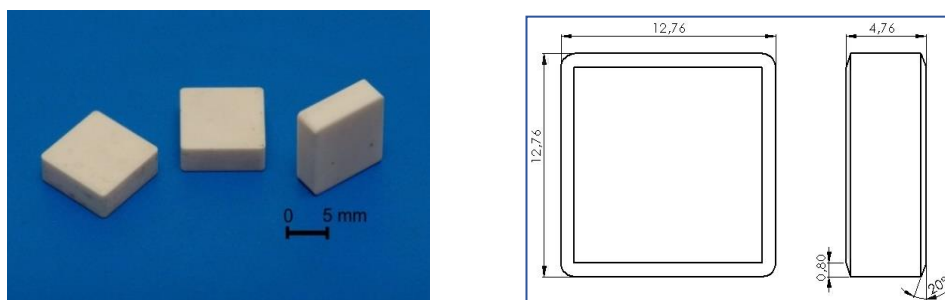


Figura 3: a) Ferramenta de alumina; b) Desenho esquemático das dimensões da ferramenta.

4. TESTE DE TORNEAMENTO NO FERRO FUNDIDO VERMICULAR E NODULAR

Para o teste de torneamento utilizou-se um torno CNC- Romi, Mod. GL 240M sem presença de fluido de corte. As ferramentas foram utilizadas em tarugos de ferro fundido nodular e vermicular de 105 mm de diâmetro e 400 mm de comprimento, fornecidos pela empresa Tupy S.A. Com a finalidade de retirar a influência do processo de fundição em função da qualidade superficial do fundido, os corpos de prova foram submetidos ao processo de pré-usinagem. As ferramentas foram fixadas em um suporte do tipo CSRN 2525M 12CEA que é apropriado para ferramentas cerâmicas e submetidas ao torneamento nas $V_c = 200, 300$ e 400 m/min , $f = 0,25 \text{ mm/rot}$ e $a_p = 0,50 \text{ mm}$; estes parâmetros foram selecionados com base na literatura.



(a)



(b)

Figura 4 : a) e b) Tarugo de ferro fundido nodular e vermicular.

Os desgastes foram analisados um “microscópio” estereoscópico, e o critério de vida das ferramentas foi determinado para um desgaste de flanco máximo ($VB_{\text{máx}} = 0,6 \text{ mm}$) e/ou fratura abrupta das ferramentas.



(a)



(b)

Figura 5- a) CNC ROMI GL 240M- Lab.UNESP/ Campus Guaratinguetá; b) Ferramenta Cerâmica de Alumina no suporte.

Posteriormente as medidas de rugosidades superficiais das peças foram realizadas a cada passe, utilizando um rugosímetro marca Mitutoyo Surftest 402 series 178, de acordo com a norma JIS 2001 e funcional (DIN 4776).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos parâmetros levantados na literatura realizou-se testes preliminares para verificação da atuação da ferramenta conforme Tabela 1 optou-se por trabalhar em três velocidades. Esses parâmetros proporcionaram o conhecimento do desempenho da ferramenta em diferentes condições de usinagem.

Tabela 1. Parâmetros de Corte dos Ensaios.

<i>Condições</i>	<i>V_C (m/min)</i>	<i>f (mm/rev)</i>	<i>a_p (mm)</i>
A	200	0,10/0,25	0,5
B	300	0,10/0,25	0,5
C	400	0,10/0,25	0,5

Analisando as figuras 6, podemos observar que a melhor condição de usinagem com a ferramenta a base de Al₂O₃ foi obtido para V_c=400m/min, o que pode estar diretamente relacionado com as propriedades da ferramenta em função da temperatura a qual foi submetida durante os testes de usinagem, o que também provocou em função do esforço compressivo provocou a remoção de pequenos grãos ao longo do tempo o que pode promover pequenas fraturas. Em função da temperatura durante usinagem pode-se verificar a formação da aresta secundária de corte o que promove um alívio de tensões, e melhoria do desempenho da ferramenta. Verificou-se por meio da análise da superfície com desgaste liso conforme.

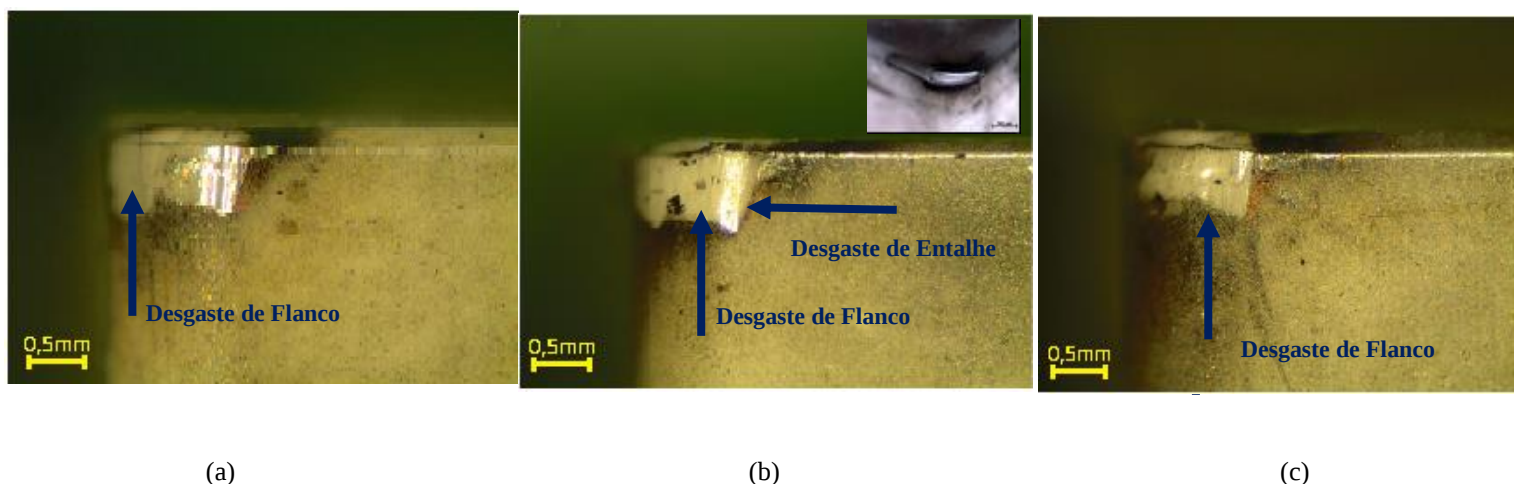


Figura 6 – Desgaste de Flanco a) V_c = 200mm/min, f = 0,25mm/rot, a_p = 0,50mm; b) V_c = 300 mm/min, f = 0,25mm/rot, a_p = 0,50mm; c) V_c = 400mm/min, f = 0,25mm/rot, a_p = 0,50mm.

Analisando a Figura. 6, podemos observar que houve um desgaste de flanco progressivo, que pode estar diretamente relacionado com os parâmetros de corte que foram utilizados o que possibilitou a acomodação da ferramenta com a peça em função da existência de tensões térmicas, o que propicia a formação de uma camada grafitizada na interface ferramenta peça, na Fig 6 (b) a

ação das tensões térmicas e da formação da camada de grafite foi menos eficiente devido a presença do desgaste de entalhe.

6. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE USINAGEM

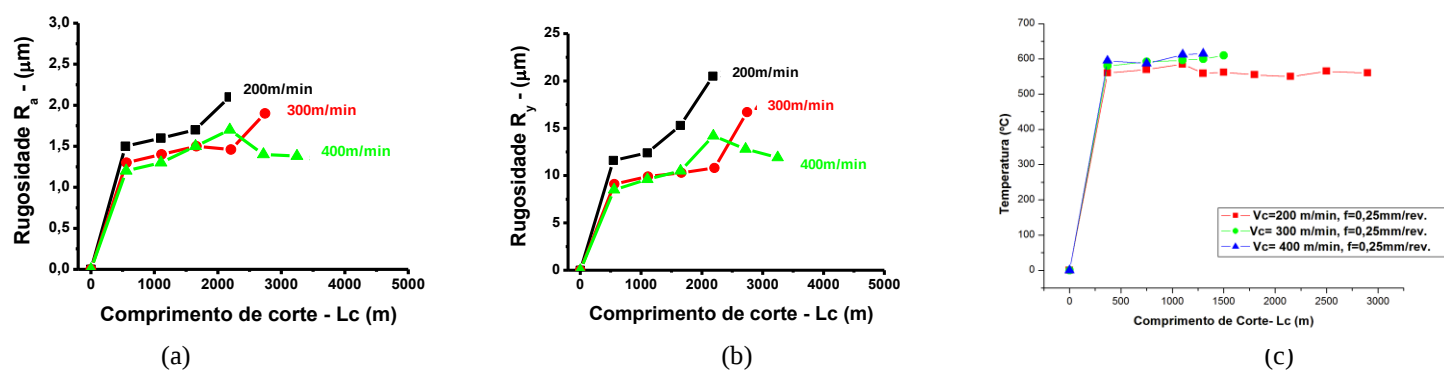


Figura 7 – a) Rugosidade Superficial ferro vermicular (R_a); b) Rugosidade (R_y); c) Temperatura.

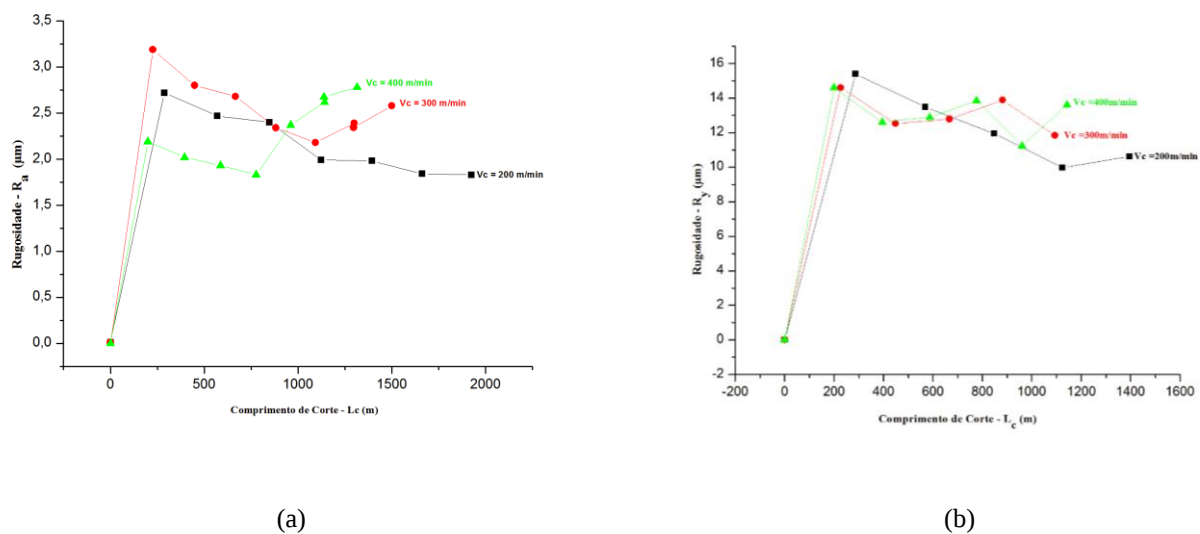


Figura 8 – a) Rugosidade Superficial Ferro Fundido Nodular (R_a); b) Rugosidade (R_y).

Nas Figuras 7 (a-b) podemos observar que com a velocidade de corte $V_c = 400$ m/min obtivemos menores valores de rugosidade em uma temperatura de aproximadamente 600°C para o ferro fundido vermicular, estas variações estão diretamente ligadas ao desgaste da ferramenta em função da topografia. Analisando os resultados obtidos nas Figuras 7 (a-b), pode ser observado que os menores valores de rugosidades obtidos na $V_c = 400$ m/min e $f = 0,25$ mm/rot são $R_a = 1,3\mu\text{m}$ e $R_y = 7,82\mu\text{m}$, onde pode ter ocorrido interação da temperatura pela presença do grafite como fluido pastoso e um perfil diferenciado de desgastes na face de corte da ferramenta. Nas Figuras 8 (a-b) podemos observar que a ferramenta apresenta uma acomodação ferramenta/peça inicialmente as rugosidades tendem a aumentar e apresentam posterior decréscimo em função do comprimento de corte. Desta forma a velocidade de 200m/min para o ferro fundido nodular apresentou um decréscimo da rugosidade onde o menor valor de $R_a = 1,83\mu\text{m}$ fato que também é comprovado se observarmos a rugosidade $R_y = 9,97\mu\text{m}$.

7. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados podem estar associados a acomodação ferramenta/peça em função da temperatura durante o teste de torneamento favorecido pela presença da grafita que estaria atuando como lubrificante.

A ferramenta desenvolvida apresentou bom desempenho nos testes de torneamento a seco do ferro fundido nodular e vermicular, chegando a um comprimento de corte médio de 4446mm, sendo que para a usinagem do ferro vermicular conseguiu-se trabalhar com uma velocidade de corte de 400m/min o que afeta diretamente quanto ao custo no processo produtivo industrial. Em função das rugosidades superficiais se apresentou de forma promissora a atender aos parâmetros de qualidade do produto acabado.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a realização deste trabalho à contribuição da Tupy Fundições de Mauá, Mapal do Brasil Ferramentas de Precisão Ltda, DCTA, FEG-UNESP e a CAPES.

9. REFERÊNCIAS

- (1) DAWSON, S.; Compacted graphite iron: mechanical and physical properties for engine design, SinterCast Technical Publication, Stockholm, Sweden (2002).
- (2) SLATTER, T.; LEWIS, R.; JONES, A.H.; The influence of induction hardening on the impact wear resistance of compacted graphite iron (CGI), *Wear* 270 (2011) 302–311.
- (3) DAWSON, S.; Indra, F.; Compacted graphite iron- A new material for highly stressed cylinder blocks and cylinder heads, *VDI Fortschritt – Berichte* 12 (639) (2007).
- (4) ABELE, E.; SAHM, A.; and SCHULZ, H.; Wear mechanism when machining compacted graphite iron, *CIRP Ann. 2002, Manufact. Technol.* 51 (2002) (1), pp. 53–56.
- (5) ASTM: C1327-99, “Standard test method for vickers indentation hardness of advanced ceramics”, pp. 1-8, 1999.
- (6) ASTM: C-1421-99, “Standard test method for determination of fracture toughness of advanced ceramics at ambient temperature”, pp. 1-32, 1999.
- (7) (3) DAWSON, S.; HOLLINGER, I.; ROBBINS, M.; DAETH, J.; REUTER, U.; SCHULZ, H.; The effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron. In: *SAE Tech. Pap. Ser.* 2001-01-0409; 2009.
- (8) (10) SOUZA, J.V.C.; NONO, M.C.A.; RIBEIRO, M.V.; MACHADO, J.P.B.; SILVA, O.M.M. Cutting forces in turning of gray cast iron using silicon nitride based cutting tool, *Materials & Design*, v.30, (2009), pp. 2715-2720.
- (9) CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. Características Gerais, Tratamento Térmico, Principais Tipos. 7º Edição ampliada e revisada, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 2005.

10. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

NODULAR AND VERMICULAR CAST IRON MACHINING USING ALUMINA TOOL.

Taíse Azevedo de Sousa, taiseazevedo.sousa@yahoo.com.br¹

José Vitor Cândido de Souza, candido@feg.unesp.br¹

Anna Karina Sarquis Duarte, karinasarquis@gmail.com¹

Marcelino Pereira do Nascimento, pereira@feg.unesp.br¹

Marcos Valério ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br¹

Olivério Moreira de Macedo silva, silvaoliva@bol.com.br²

¹Unesp-FEG/Guaratinguetá-departamento de Materiais – avenoda Ariberto Pereira da Cunha,333 CEP:12516-410.

²DCTA- IAE- AMR- Pça – Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos- SP CEP:12228904.

Abstract: *At the present time, the follow-up of the development of new materials has become very important due to the need to obtain materials with high properties and low cost. However, this set of needs when possible will inevitably imply in other difficulties as in manufacturing processes. In this sequence, the development of ceramic materials for cutting tools has shown promising results because the ceramics present properties such as high hot hardness, abrasion resistance, chemical inertia and lightness. The objective of this work is the machining comparison of the vermicular and nodular cast iron using ceramic tool based on alumina. In the present work two types of alumina-based ceramic tools developed and applied to the turning tests performed in nodular and vermicular cast iron using 200, 300 and 400 m / min cutting speeds (V_c), (f) 0.10, 0.25mm / rot and depth of cut (ap) of 0,50mm and 1mm. Characterizations will be performed according to the types of wear, roughness (R_a and R_y) and cut length.*

Keywords: *Ceramic Tool, Machining, Materials Engineering, Dry Machining, Cost Reduction.*