

FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE A BASE DE NITRETO DE SILÍCIO POR SINTERIZAÇÃO NORMAL PARA USINAGEM DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Souza, J. V. C *; Crnkovic, S.J

FEG-UNESP, Av. Dr. Ariberto Ferreira da Cunha, 333, cep 12516-410, Guaratinguetá-SP

Santos C; Kelly, C. A.

DEMAR-FAENQUIL, Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n,cep 12600-000, Lorena-SP

Lanna M. A.

CTA-IAE-AMR, Pça. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50, cep. 12228-904, S.J.Campos –SP

Andrade C. L. F.

Tupy Fundições Ltda, Rua Albano Schmidt, 3400, Bairro Boa Vista, cep 89227-901, Joinville – SC

Candido@feg.unesp.br

Resumo.

Sabendo-se que o processo de usinagem de ferro fundido envolve diversos mecanismos atuantes entre, a ferramenta de corte e a peça como: (temperatura, compressão, impacto, desgaste, choques térmicos e fadigas térmicas e etc.) e que alguns materiais cerâmicos possuem excelentes propriedades para essa aplicação. Nesse trabalho após amplos estudos das propriedades dos materiais cerâmicos, chegou-se a conclusão que o nitreto de silício possui determinadas propriedades para essa finalidade, sendo muito importante o aditivo, a ser usado para uma formação de solução sólida que leve a essas determinadas propriedades. Devido à alta dureza dos materiais cerâmicos e suas fragilidades, foram feitas análises detalhadas de sua microestrutura e geometria, tendo como finalidade evitar quebra catastrófica e tornando o custo benefício muito alto.

Esse trabalho teve como objetivo produzir ferramentas de corte com microestrutura densa, alta dureza e alta tenacidade, utilizando três composições à base Si_3N_4 aditivado com AlN , Al_2O_3 e Y_2O_3 , sinterizada pelo processo de sinterização normal em atmosfera de nitrogênio, temperaturas $1900^{\circ}C$, taxa aquecimento $25^{\circ}C/min.$ e patamar $60min$. Os resultados demonstram que os parâmetros utilizados foram satisfatórios para obtenção de pastilhas com geometria final de $13x13x4,80$, chanfro de 20° e largura de $0,8mm$, além de microestrutura com predominância de fase $\alpha\text{-SiAlON}$, densidade 98% , microdureza de $20GPa$ e tenacidade a fratura de $5MPa.m^{1/2}$. Os resultados obtidos nesse trabalho são promissores para aplicações futuras dessas pastilhas em usinagem de ferro fundido cinzento, sem utilização de fluido de corte.

Palavras chaves: Ferro fundido cinzento, Ferramentas de cortes, Si_3N_4 , propriedades mecânicas, Chanfro.

1.INTRODUÇÃO

O nitreto de silício é um material cerâmico com boas propriedades de resistência à corrosão, ao desgaste e elevada resistência mecânica a altas temperaturas. As boas propriedades combinadas com baixas densidades e estabilidades químicas e dimensionais fazem com que cerâmicas à base de nitreto de silício sejam materiais de interesse para uma variada gama de aplicações em temperaturas elevadas. Esse material alcançou parte significativa no inserto cerâmico para ferramenta de corte na década de 80 (conforme Silva 1996), sendo que até os dias atuais são feitos muitos experimentos em busca de aperfeiçoamentos em sua fabricação. Os materiais cerâmicos a base nitreto de silício, possuem formas cristalinas derivado da solução sólida $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$. As associações destas combinações aumentam a resistência à abrasão, compressão, fluência, e fadigas térmicas (de acordo Diniz1999, Santos 2003).

O objetivo deste trabalho foi fabricar ferramentas cerâmicas a base de nitreto de silício para aplicabilidade em ferro fundido cinzento com dureza de até 700HB(conforme Koning, 1997). Conforme (Gazarra 1977 e Komeya 1988) através dos parâmetros de sinterização utilizados e analise por difração de raios-X e subsequente caracterização por microscopia eletrônica de varredura, massa específica aparente, microdureza e tenacidade à fratura, foi possível obter pastilhas com resultados de densificação e propriedades mecânicas com características promissoras para usinagem do ferro fundido cinzento, devido ao conjunto de solicitações agindo simultaneamente nos testes de usinagem de ferro fundido, conforme Mocellin (2002).

1.1.Propriedades do ferro fundido cinzento

As propriedades do ferros fundido cinzento estão creditadas aos tipos de morfologias das suas grafitas, que conferem propriedades físicas, mecânicas distintas e que favorecem sua aplicabilidade industrial, conforme visualizadas na Fig 1 (Sergeant, 1978)

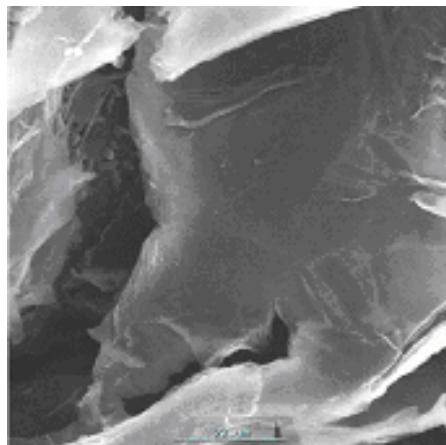


Fig 1: Forma espacial do tipo de grafitas dos ferros fundidos.

O ferro fundido cinzento apresenta grafitas na forma de lamelas, com cantos agudos e superfícies lisas. Suas grafitas são interconectadas e sem orientação preferencial, formando uma rede quase contínua. De acordo com Dawson (1994), as grafitas, por possuírem uma alta condutividade térmica, da ordem de aproximadamente 3-5 vezes maiores que a do ferro garantem ao material uma boa condutividade térmica, e devido as suas orientações neste, proporcionam uma excelente capacidade de amortecimento de vibrações. Essa se deve ao caminho que as ondas sonoras realizam ao se propagarem através do ferro, refletindo-se na superfície das grafitas e sendo enfraquecida pela sua transformação em calor. Deste modo, ao mesmo tempo em que se têm vantagens em razão da forma e orientação das

grafitas na matriz, têm-se desvantagens com a redução da resistência mecânica, da ductilidade e da tenacidade do material. Isto é causado em função das descontinuidades provocadas nas matrizes pelos cantos agudos das grafitas, que agem como pontos de concentração de tensões e planos de propagação de trincas, conforme (Dawson, 1994; Marquard et 1998).

1.2. Geometria da ferramenta de corte de material cerâmico

As ferramentas de corte de material cerâmico são frágeis nas arestas de corte, podendo ocorrer lascas ou fraturas. É recomendada a utilização de canto chanfrado com inclinação negativa. O aprimoramento na técnica de fabricação, nas propriedades mecânicas e na rigidez das ferramentas fabricadas já permite o uso de geometria de inclinação positiva. A Fig 2 mostra pastilhas com ângulo de ponta mais comuns, desde a pastilha redonda até aquela com ângulo de 35 graus, na superfície lateral de folga. A escala 1 desta Fig 2 indica que, com relação à resistência da aresta de corte (S), quanto maior o ângulo de ponta (à esquerda), maior a resistência. Com relação à versatilidade e acessibilidade (A), as pastilhas à direita são superiores. A escala 2 indica que a tendência à vibração (V) aumenta para a esquerda enquanto a exigência de potência (P) é mais baixa para a direita.

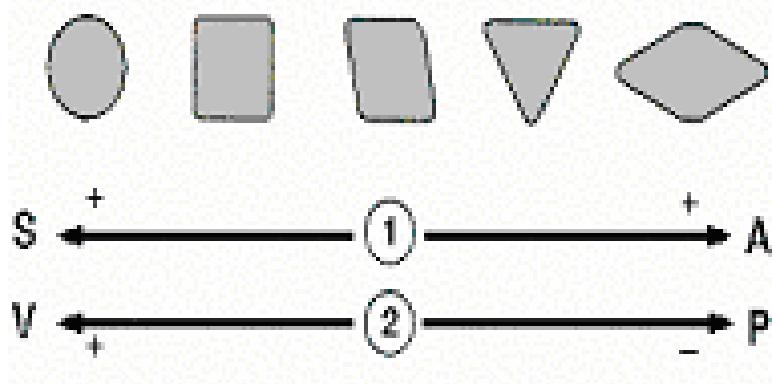


Fig 2 - Ângulo de ponta das ferramentas (conforme Silva, 1996).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Preparação das Composições

As composições estudadas foram misturas à base de nitreto de silício ($\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$) aditivado com nitreto de alumínio (AlN) e óxido de ítrio (Y_2O_3). A razão molar de AlN: Y_2O_3 foi 9:1 para as composições estudadas (A e B), variando-se apenas a quantidade de aditivos (15 e 20% em volume), conforme indicado na tabela 1. Nesta Tabela é apresentada ainda a composição alternativa utilizada para comparação.

Composições das amostras com aditivos de sinterização.

Amostra	Si_3N_4	Composição AlN	(% em peso) Y_2O_3	Al_2O_3
A	84,0	9,80	6,2	--
B	79,3	12,4	8,3	--
C	83,5	6,5	---	10,0

Após o processo de moagem/homogeneização realizado em moinho de bolas de alta rotação, por um período de 2 horas, os corpos-de-prova foram compactados uniaxialmente, em matriz metálica com camisa flutuante, e isostáticamente, ambos a frio, sob carga de 300 MPa. Em seguida, a composição foi sinterizada pelo processo de sinterização normal em atmosfera de nitrogênio, na temperatura de 1900°C, com taxa de aquecimento de 15°C/min. e patamar de sinterização de 60 minutos.

Com relação às propriedades físicas, foram determinadas a massa específica aparente pelo método de Arquimedes, as fases presentes por intermédio de um difratômetro de raios-X e desenvolvimento microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras sinterizadas, foram lixadas e polidas e submetidas a ataque químico de sais fundidos (1:1 de NaOH-KOH) por 15 min, a 500°C, para revelação microestrutural. A análise da morfologia de grãos das amostras sinterizadas, polidas e atacadas foi efetuada utilizando-se de um microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 1450VP. Visando à melhoria da imagem obtida e facilidade na interpretação dos resultados, as amostras foram recobertas com um filme de ouro, para tornar a superfície condutora. Com relação às propriedades mecânicas, estas foram avaliadas por micropenetração e a tenacidade à fratura, ambos pelo método de indentação Vickers, com carga de 2,0 kg e tomado-se a média de 10 indentações.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aspecto das Ferramentas

As usinagens a altas velocidades de corte e a seco tornaram-se expressões muito utilizadas na usinagem nos últimos anos. São termos genéricos para projetos de processo inovativo e de alto desempenho. Atualmente, raros eventos ou publicações omitem o corte à alta velocidade e tanto os fabricantes de ferramentas como de máquinas ferramentas parecem estar desenvolvendo e comercializando apenas produtos com capacitação para altas velocidades. Entretanto, as maiores dureza e resistência ao desgaste das ferramentas cerâmicas são acompanhadas por uma maior fragilidade quando comparadas com o aço rápido. Isso exige um controle preciso dos parâmetros de contato e inúmeros testes de usinagem para se determinar os parâmetros mais adequados para se promover a usinagem de um determinado material em condições ótimas de corte para a ferramenta.

A Fig 3 apresenta o aspecto antes da usinagem da superfície de incidência e de saída de cavacos da ferramenta à base de Si₃N₄ desenvolvidas neste trabalho.

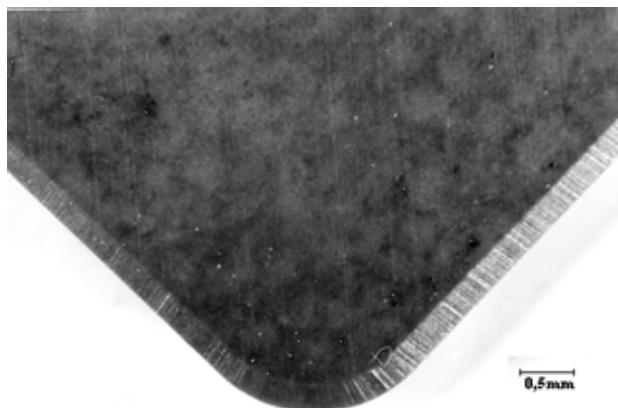


FIG 3 – Pastilha à base de Si₃N₄ desenvolvida no trabalho.

3.2.Massa específica aparente

A massa específica aparente foi determinada pelo método de Arquimedes, tomando-se em média três medidas. Determinou-se, também a massa específica relativa, obtida pela relação entre a massa específica aparente e a calculada pela regra das misturas. Os resultados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de massa específica aparente e relativa.

Amostra	Massa especifica aparente (g/cm ³)	Massa específica relativa (%)
A	3,248	97,90
B	3,453	98,05
C	3,251	98,10

Analizando os resultados obtidos, observou-se que a temperatura de sinterização a 1900°C foi suficiente para promover uma elevada densidade relativa das ferramentas de corte, favorecendo a utilização desses materiais na usinagem. Isto deve-se a maior quantidade de fase líquida formada, que intensifica o mecanismo de rearranjo de partículas e o processo de solução-reprecipitação de grãos α -Si₃N₄ em α -Sialon.

3.3.Difração de raios X

Os resultados da difratometria por raios X são resumidos na Tabela 3.

amostra	Fases presentes	Relação de fases $\alpha:\beta(%)$
A	β -Si ₃ N ₄ , α -SiAlON	87:13
B	β -Si ₃ N ₄ , α -SiAlON	82:18
C	β -Si ₃ N ₄ , α -SiAlON	19:81

Observou-se nas amostras A e B, a predominância da fase α -Sialon para a temperatura de sinterização utilizada (1900°C), a qual esta relacionada aos parâmetros utilizados, como patamar (60 min.), taxa de aquecimento(15°C/min.), pressão de nitrogênio.

O processo de sinterização foi suficiente para que o mecanismo operante de solução-reprecipitação permitisse a obtenção da fase predominante α -sialon(conforme Komeya 1988) expressiva para ganho em dureza e consequentemente para aplicação em usinagem como proposto nesse trabalho. Nesse contexto, entendemos que as composições A e B são as mais apropriadas para aplicações em usinagem de ferro fundido cinzento, pois apresentam uma grande quantidade d fase α – SiAlON mais dura.

3.4.Microscopia eletrônica de varredura(MEV)

A Fig 4 mostra as fotomicrografias obtidas por MEV, mostrando microestrutura com predominância de grãos α -Sialon caracterizado pelo seu formato alongado. Observa uma maior razão de aspecto destes grãos, mas com uma formação de grãos com tendência homogênea importante para uso em trabalhos de usinagem.

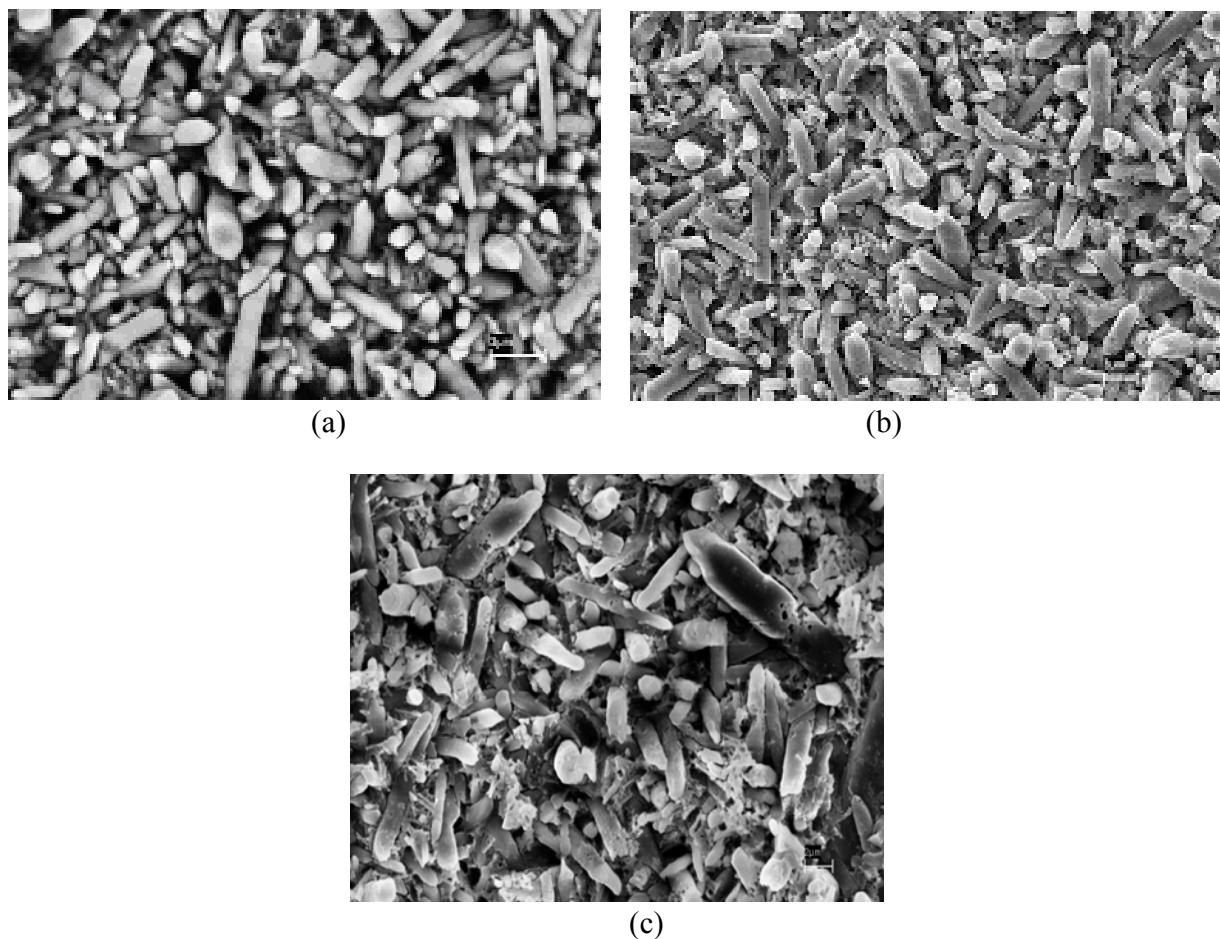


FIG 4 – Microestrutura das pastilhas cerâmicas das amostras: **A, B, C**

É verificado que as composições A e B, apresentam microestrutura de grãos alongados, majoritariamente de fase α -Sialon, conforme identificado pela difratometria de raios X. A composição C, apresenta grãos alongados compostos, principalmente da fase β . Com relação aos aspectos microestruturais, todas as amostras apresentam características tenacificantes, apresentando microestrutura de grãos hexagonais prismáticos alongados de elevada razão de aspecto conforme (Kaysser 1984)

3.5. Propriedades mecânicas

A tabela 4, apresenta os resultados de microdureza Vickers e tenacidade à fratura, ambos obtidos pelo método de indentaçāo, submetidos impressões com indentador piramidal.

Tabela 4 – Resultados de microdureza Vickers e tenacidade à fratura das composições estudadas.

Amostra	Microdureza (GPa)	Vickers	Tenacidade à (MPa.m ^{1/2})
A	$20,1 \pm 0,13$		$5,42 \pm 0,16$
B	$18,8 \pm 0,18$		$5,91 \pm 0,14$
C	$16,8 \pm 0,12$		$7,01 \pm 0,21$

Analizando a Tabela, verifica-se que as misturas A e B, apresentam características similares quanto às propriedades analisadas. Observou-se valores de dureza na ordem de 18 a 20 GPa, devido à formação de α -Sialon, que possui dureza cerca de 20% maior que o β - Si_3N_4 e devido a redução da quantidade de fase intergranular (mais macia que a fase β - Si_3N_4) no sistema. A composição C, apresenta comportamento coerente com a análise de fases presentes, devido a quantidade elevada de fase β - Si_3N_4 e fase intergranular, que não entrou em solução sólida com a fase $\alpha - \text{Si}_3\text{N}_4$, havendo tendência a redução da dureza.

A morfologia do grão e a quantidade de fases α e β - Si_3N_4 têm um efeito acentuado nos valores da tenacidade à fratura. Nas condições de tempo, temperatura e quantidades de aditivos utilizados para as composições sinterizadas à pressão atmosférica, resultaram em grãos α -Sialon e β - Si_3N_4 ambos alongados. Os valores de tenacidade à fratura indicam que a composição C, apresentou valores de tenacidade à fratura superiores devido à presença de uma quantidade maior de fase intergranular e grãos β levemente mais alongados que os grãos α nas composições A e B.

4.CONCLUSÕES

O objetivo de fabricação de ferramentas de corte para usinagem de ferro fundido cinzento foi alcançado com sucesso, com utilização da amostra (**A**) que proporcionou ferramentas com dureza de 20,1GPa e tenacidade à fratura de $5,42\text{MPa.m}^{1/2}$ devido a fase α -Sialon com grãos alongados. Esses valores justificam os parâmetros de sinterização utilizados, uma vez que a composição para obter esta fase foi estequiométricamente estabelecida em termos de dados de literatura e utilizada nesse trabalho. Os altos níveis de densificação, observado em todas as composições indica que os parâmetros de sinterização foram eficientes e podem ser utilizados na sinterização de novas produções de ferramentas de corte, proporcionando altos valores de microdureza Vickers. Pela análise microestrutural, utilizando microscopia eletrônica de varredura foi possível observar a presença predominante de grãos alongados de alta razão de aspecto, α -SiAlON (composições **A** e **B**) ou β - Si_3N_4 (composição **C**), confirmado pelo difratograma de raio-x, que contribuiu para uma aumento da tenacidade à fratura dos materiais obtidos. A composição **C** apresentou uma melhor tenacidade à fratura, porém, com dureza muito menor e com uma quantidade maior de fase intergranular, desfavorecendo suas indicações para produção de ferramentas de corte.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FEG.UNESP, AMR-IAE/CTA - Divisão de Materiais e a Empresa Tupy Fundições, pela doação dos materiais fundidos, materiais bibliográfico.

REFERENCIAS

- DAWSON, S. Operational Properties of Compacted Graphite Iron: Feedback from ongoing test programmes. SinterCast S.A, Switzerland, Fev. 1994b.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. Tecnologia da Usinagem dos Metais. São Paulo: MM Editora, 1999.
- EDWARDS, R. Cutting tools. 1º Edição. Editora University Press0 Cambridge. 1993.
- FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. 9º Edição. Editora Edgard Blücher LTDA. 1995.
- GAZARRA, C.P., MESSIER, D.R., Determination of phase content of Si_3N_4 by X-Ray diffraction analysis, *Ceram Bulletin*, 1977, 56, [9] p777-80.

- Kaysser, W.A. and Petzow, G., Recent conception on liquid phase sintering, Proceedings Sintering Theory and Practice Conference, London, 1984.
- KOMEYA, K., "Fabrication and Properties of Silicon Nitride ceramics", *Fine Ceramics*, 175-88, Ed. By S.Saito, Elsevier, Japan, 1988.
- KÖNIG, W.; KLOCKE, F. Fertigungsverfahren 1: Drehen, Fräsen, Bohren. 5.Auflage. Aachen, 1997.
- MARQUARD, R.; HELFRIED, S.; McDONALD, M. Crank it up: New materials create new possibilities. Engine technology international, v. 2, p. 58-60, 1998.
- MOCELLIN, F. Avaliação da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaios de Furação. Florianópolis, 2002^a. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SANTOS, C., STRECKER, K., RIBEIRO, S., SOUZA, J.V.C., SILVA, O.M.M., SILVA, C.R.M., α -SiAlON ceramics with elongated grain morphology using an alternative sintering additive, 2003, inpress.
- SERGEANT, G. F.; EVANS, E. R. The Production and properties of compacted Graphite Irons. British Foudryman, London, v. 75, nº 5, p. 115-124, 1978.
- SILVA, O.M.M. Desenvolvimento e caracterização de ferramentas de corte nacionais de nitreto de silício. São José dos Campos, 1996 Tese (Mestrado em ciências) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

MANUFACTURE OF CUT TOOLS THE SILICON NITRIDE BASE FOR NORMAL SINTERING TO MACHINING OF GRAY CAST IRON

Souza, J. V. C *; Crnkovic, S.J

FEG-UNESP, Av. Dr. Ariberto Ferreira da Cunha, 333, cep 12516-410, Guaratinguetá-SP

Santos C; Kelly, C. A.

DEMAR-FAENQUIL, Pólo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, s/n,cep 12600-000, Lorena-SP

Lanna M. A.

CTA-IAE-AMR, Pça. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50, cep. 12228-904, S.J.Campos –SP

Andrade C. L. F.

Tupy Fundições Ltda, Rua Albano Schmidt, 3400, Bairro Boa Vista, cep 89227-901, Joinville – SC

Candido@feg.unesp.br

ABSTRACT

Knowledge that in machining process gray cast iron involve diverse mechanisms in operation between cutting tools and the material as: (temperature, compression, impact, wear thermal shocks and fatigues, etc.) that some ceramic materials have had properties excellent for this application. This work, after full studies about properties of ceramic materials, it has had conclusion that silicon nitride had properties determinate for this purpose, being very important the additives to be used for a formation solid solution that in the given definitive properties. Due the high hardness of ceramic materials and its brittleness, it has been made details analyzes in its microstructure and geometry, having as purpose to prevent failure catastrophic, becoming very high the cost benefit.

This work had as objective to produce cutting tools with dense microstructure, high hardness and high fracture toughness, using three compositions with AlN, Al₂O₃ and Y₂O₃ as sinter additive for Si₃N₄ base. Samples were sintered using heating-up 1900°C with a rate of 25°C/min in nitrogen atmosphere and isothermal holding of 60min.

The results demonstrate that the use this parameters had been satisfactory obtainment of tablets with finish geometry of 13x13x4,80, chamfer of 20° and width of 0,8mm, beyond microstructure with predominance phase α -SiAlON, density 98%, microhardness of 20GPa and fracture toughness of 5MPa.m^{1/2}. The results obtained in this work are promising for future applications these tablets in machining of gray casting iron, without use cut fluid.

Words keys: gray cast iron, cutting Tools, Si_3N_4 , mechanical properties, chamfer.