



Fundação Oswaldo Aranha

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**LEOPOLDO FERREIRA DE SOUSA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS CERÂMICAS DE  
ALUMINA-ÍTRIA PARA APLICAÇÃO EM TORNEAMENTO DO FERRO  
FUNDIDO NODULAR  
(VERSÃO DO PRODUTO)**

**VOLTA REDONDA - RJ  
2013**



Fundação Oswaldo Aranha

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS CERÂMICAS DE  
ALUMINA-ÍTRIA PARA APLICAÇÃO EM TORNEAMENTO DO FERRO  
FUNDIDO NODULAR**

Apresentação do desenvolvimento e condições de utilização do produto apresentado ao curso de mestrado profissional em materiais do UniFOA como requisito obrigatório para obtenção do título de mestre em materiais

Aluno:  
Leopoldo Ferreira de Sousa

Orientador:  
José Vítor Cândido de Souza

**VOLTA REDONDA - RJ  
2013**

## SUMÁRIO

|                                                                | <b><u>Pág.</u></b> |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1.0 Etapas da Fabricação da Ferramenta .....                   | 4                  |
| 1.1 Matérias Primas .....                                      | 4                  |
| 1.2 Preparação das Misturas .....                              | 5                  |
| 1.3 Compactação .....                                          | 5                  |
| 1.3.1 Prensagem Uniaxial a Frio .....                          | 5                  |
| 1.3.2 Prensagem Isostática a Frio .....                        | 6                  |
| 1.4 Sinterização .....                                         | 7                  |
| 1.5 Densidade Relativa .....                                   | 8                  |
| 1.6 Preparação para Determinação da Tenacidade a Fratura ..... | 9                  |
| 1.7 Microdureza Vickers (HV) .....                             | 10                 |
| 1.8 Tenacidade a Fratura ( $K_{IC}$ ) .....                    | 11                 |
| 1.9 Microestrutura .....                                       | 12                 |
| 2.0 Materiais Indicados e Parâmetros de Corte .....            | 13                 |

## 1.0 Etapas da Fabricação da Ferramenta

Este texto descreve as etapas envolvidas na fabricação da ferramenta de corte de Alumina-íttria. A Figura 01 apresenta o fluxograma das etapas de fabricação e os testes da ferramenta desenvolvida:

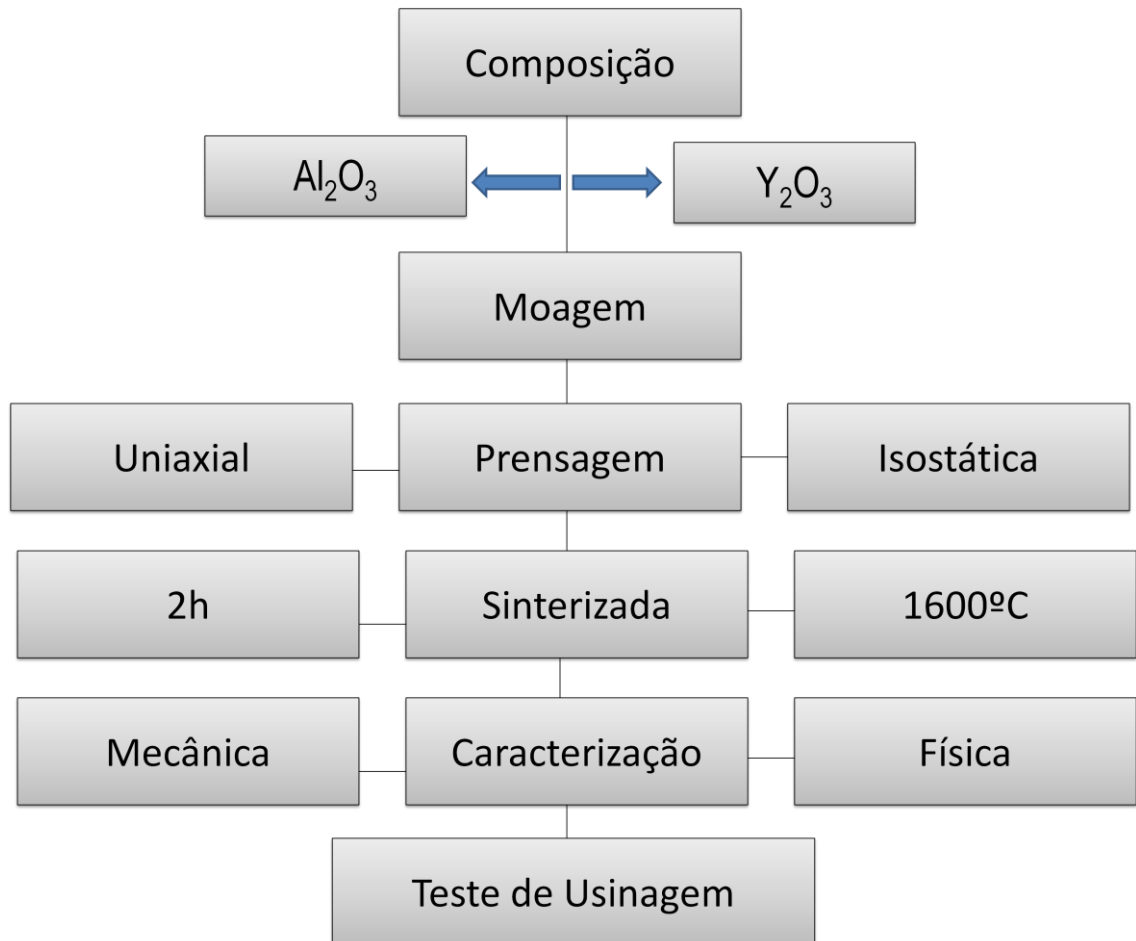


Figura 01-Etapas de fabricação e testes da ferramenta desenvolvida

## 1.1 Matérias Primas

A ferramenta cerâmica foi produzida usando pós de alumina  $\alpha$  ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  da Alcoa do Brasil) e óxido de ítrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$  da HCST da Alemanha), com uma composição de 95% em peso  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 5% em peso  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , com tamanho de partículas de 0,40 - 0,70  $\mu\text{m}$ . Com o objetivo de obter estequiometria do YAG.

## **1.2 Preparação das Misturas**

Primeiramente, os pós foram pesados em balança analítica com precisão de duas casas decimais, logo após a composição foi moída e homogeneizada em meio líquido por 24 horas utilizando moinho de bolas rotativo com potes e esferas de alumina. Após a homogeneização, foram analisados os pesos das esferas um e do copo do moinho para observar uma possível contaminação nas misturas de pós. Em seguida, o pó foi secado em estufa a 120 °C por 24 horas, em seguida foi desagregado e submetida ao peneiramento em malhas de 100 mesh (0,15mm) para desaglorameração.

## **1.3 Compactação**

A compactação das misturas se deu em duas etapas: primeiro através da prensagem uniaxial e depois pela prensagem isostática.

### **1.3.1 Prensagem Uniaxial a Frio**

A prensagem uniaxial foi executada, primeiramente com a pesagem de pó necessário para a fabricação de uma amostra. Após a pesagem, o pó foi colocado no interior de uma matriz metálica com formato 16,36 x 16,36 x 7,50 mm, preenchendo a mesma de forma homogênea, obtendo assim uma melhor distribuição do pó. Após o preenchimento, o pó foi compactado com uma carga de 80MPa, durante 30 segundos através de uma prensa hidráulica uniaxial, obtendo as dimensões descritas no formato da matriz metálica, para futura transformação em insertos.



Figura 02 - Vista geral da prensa hidráulica uniaxial utilizada na compactação a frio.

### **1.3.2 Prensagem Isostática a Frio**

Após a compactação por prensagem uniaxial a frio, os corpos de prova foram prensados isostaticamente a frio, com o objetivo de obter maiores resultados de densidade a verde, para a eliminação quase que total dos problemas relacionados ao gradiente de pressão de compactação ao longo do corpo de prova, facilitando assim seu manuseio. Inicialmente os corpos de prova foram encapsulados a vácuo, em moldes de látex flexível, sendo imersos em óleo, na câmara de prensagem, com velocidade de compactação de 15MPa/s e pressão de 300MPa por 2 minutos. Para realizar tal tarefa foi utilizada uma prensa isostática tipo KIP 100E, Marca Paul Weber.



Figura 03 - Vista geral da prensa isostática KIP 100 E, marca Paul Weber. Observa-se a câmara de prensagem (à esquerda) e o painel de controle (à direita).

#### 1.4 Sinterização

A sinterização das amostras foi realizada em forno com atmosfera controlada modelo F1650-MAITEC com elemento resistivo de  $\text{MoSi}_2$ .

Os corpos a verde foram acomodados sobre um cadinho de alumina, protegido por uma cama de alumina, seguido da sinterização nas temperaturas de 1600 °C por 2 h, 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. Após o aquecimento, o resfriamento das amostras se deu na inércia do próprio forno.



Figura 04 - Forno de sinterização, F1650 – MAITEC.

### 1.5 Densidade Relativa

Após a sinterização das cerâmicas foi analisado a densidade relativa das amostras utilizando o princípio de Arquimedes, este princípio se baseia na imersão dos corpos de prova por um fio em água destilada a 20°C. Para a determinação da massa específica das composições utilizou-se a norma ASTM C20-87.

Para a determinação da massa imersa ( $M_i$ ), os corpos-de-prova, imersos em um volume de água destilada, foram apoiados por um suporte adaptado a balança. Pesou-se primeiro o suporte vazio e, em seguida, o suporte com os corpos-de-prova. A massa imersa ( $M_i$ ) é a diferença entre estas duas leituras.

Após a determinação da massa imersa ( $M_i$ ), os corpos-de-prova foram retirados e envolvidos em um papel toalha para a remoção de partículas de água que se encontravam na superfície, sendo então, levados para uma estufa à 100 °C durante 2 horas. Em seguida, os corpos-de-prova foram resfriados em um dessecador por um período de 30 minutos e pesados para a determinação da massa seca ( $M_s$ ).

O cálculo para a determinação da massa específica aparente é dada por:

$$\text{massa específica aparente} = M_s / M_s - M_i \quad \text{Equação 12}$$

As pesagens foram realizadas em uma balança analítica eletrônica, com precisão de 10-5 g, mostrado pela Figura 28.



Figura 05 - Vista geral da balança analítica eletrônica utilizada na pesagem dos corpos-de-prova para determinação da massa específica aparente.

### **1.6 Preparação para Determinação da Tenacidade a Fratura**

Após a sinterização dos corpos de prova, os mesmos foram lixados em lixadeira e politriz automática para eliminação de defeitos superficiais que possam alterar os resultados de tenacidade a fratura obtida no experimento.



Figura 06 - Politriz automática utilizada na preparação dos corpos de prova.

### 1.7 Microdureza Vickers (HV)

Esta determinação é baseada no tamanho da deformação permanente provocada no material pelo penetrador piramidal de diamante com seção quadrada a dureza vickers dada pela equação. Os resultados de microdureza vickers em  $\text{kgf/cm}^2$  foram convertidos em GPa, Utilizando a equação 12.

$$1\text{GPa} = 1,02 \times 10^{-2} \text{kgf} / \text{mm}^2$$

Equação 13



Figura 07 - Vista geral do equipamento utilizado para determinação de microdureza Vickers.

### 1.8 Tenacidade a Fratura ( $K_{IC}$ )

A tenacidade a fratura foi determinada pelo método de indentação vickers, onde foi calculada a partir das trincas geradas nos ensaios de dureza, medindo-se o comprimento de trinca em cada vértice das indentações piramidais. Neste trabalho foram adotados os métodos de impressão por indentação Vickers, com carga de 50N, obedecendo às normas ASTM-C-1327-99 e ASTM-C-1421-99, respectivamente.

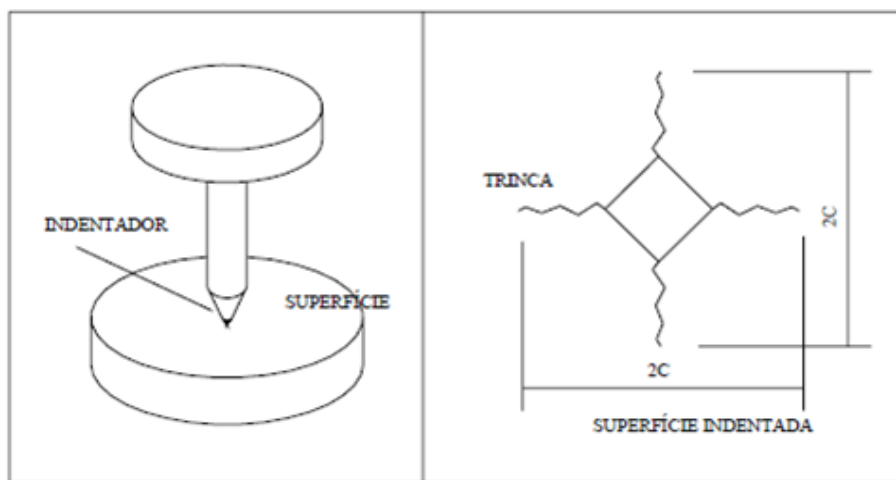


Figura 08 - Método e trinca para determinação da tenacidade.



Figura 09 – Microdurômetro utilizado no experimento

## 1.9 Microestrutura

A análise da microestrutura foi feita utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo LEO 1450VP com WDS, acoplado para observar a microestrutura das amostras sinterizadas no laboratório de Microscopia do DEMAR-EEL-USP. Para isto, foram cortadas amostras nas seções transversais e longitudinais e submetidas a preparo ceramográfico da superfície. As amostras cortadas foram retificadas, lixadas e polidas com pasta de diamante de até 1 $\mu$ m, para revelar a microestrutura. Antes ainda da observação no microscópio as amostras foram fraturadas e metalizadas com a aplicação de uma fina camada de ouro.



Figura 10 - Microscópio eletrônico de varredura – MEV.

## 2.0 UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA

Após a fabricação da ferramenta ela foi afiada com formato e dimensões definidos em função da resistência mecânica, das dimensões da porta ferramenta e das condições de utilização da ferramenta. Os insertos foram afiados de acordo com a norma ISO 1832, ficando com chave de códigos: SNUN 120408, indicados para suporte DSBNR 2020K 12. A Figura 11 mostra o desenho do inserto utilizado neste experimento.

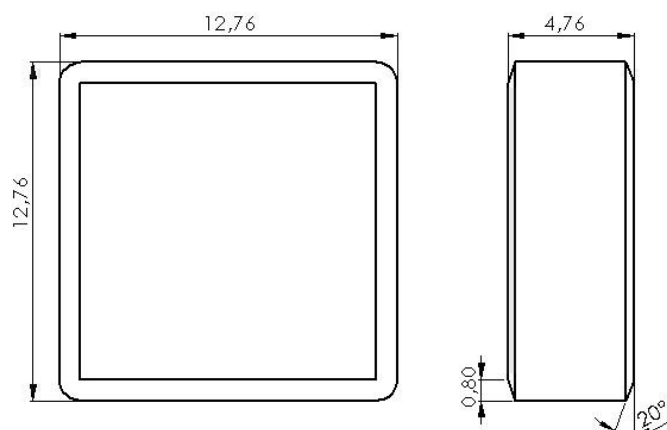


Figura 11- Dimensões da ferramenta desenvolvida com código ISO SNUN 120408

## 2.1 Materiais e Parâmetros de Corte

A ferramenta desenvolvida é indicada para o torneamento do ferro fundido nodular, tanto para condições de desbaste como para acabamento. Após a realização de vários testes com a ferramenta desenvolvida pode-se afirmar que os parâmetros de corte indicados para a sua utilização estão listados na Tabela 01 abaixo:

Tabela 01 – Condições recomendadas para a ferramenta desenvolvida.

| Material                                     | Dureza Brinell (HB) | Condição de Trabalho | Avanço (mm/rot) | Velocidade de Corte (m/min) |
|----------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
| Ferro Fundido Nodular<br>Ferrítico/Perlítico | 205                 | Desbaste             | 0,1 - 0,25      | 500 - 600                   |
|                                              |                     | Acabamento           | 0,04 - 0,08     | 500 - 600                   |