

# PRENSAGEM A QUENTE EM FERRO PURO

*Stênio Cavalier Cabral<sup>2</sup>  
Hellen Cristine Prata de Oliveira<sup>3</sup>  
Renan S. Guimarães<sup>4</sup>  
Marcello Filgueira<sup>5</sup>*

## Resumo

Normalmente, utiliza-se cobalto para o processamento de ferramentas diamantadas impregnadas. Entretanto, nos últimos anos, estão sendo desenvolvidas novas ligas alternativas ao cobalto principalmente por causa de problemas de disponibilidade e flutuação de preço do mesmo. Estas ligas apresentam elevado teor de ferro, o qual, apresenta boa adesão aos diamantes, mas promove grafitização destes, durante a sinterização. Neste sentido, este trabalho estuda a sinterização por prensagem a quente de amostras de ferro puro, para avaliação em trabalhos futuros, da grafitização dos diamantes. As amostras foram produzidas pela rota de prensagem a quente nas temperaturas de 600-650-700-750-800-850-900°C, para um tempo de 3 minutos e pressão de 35 MPa. Após a sinterização, foi avaliada a densidade dos sinterizados, bem como foram realizados testes de dureza Rockwell B e análise microestrutural.

**Palavras-chave:** Matriz ligante; Prensagem a quente; Propriedades mecânicas.

## PRESSING A HOT IRON IN PURE

## Abstract

Usually, cobalt based binding matrix is used for diamond cutting tools processing. Nevertheless, during the last decade, some iron based alloys with reduced cobalt content have been developed due to the cobalt availability and cost problems. However, despite of its good adhesion to diamond, iron is a graphitization catalyst, which takes place during hot pressing. In this sense, this work study the sintering of pure iron by hot pressing, aiming at the future research on diamond's graphitization by the iron presence. Samples were processed at T=600-900°C, during 3 minutes, at 35MPa. It was measured the density, and Rockwell B hardness tests and micro-structural analysis were conducted.

**Key words:** Bonding matrix; Hot pressing; Mechanical properties.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando em Engenharia e Ciências dos Materiais - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

<sup>3</sup> *Doutoranda em Engenharia e Ciências dos Materiais - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

<sup>4</sup> *Técnico do Laboratório de Materiais de Alta Dureza - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

<sup>5</sup> *Eng. Mecânico, DSc. Engenharia e Ciências de Materiais – Professor Associado (PPGECM) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais – CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. <marcello@uenf.br>*

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria das ferramentas diamantadas são produzidas pela tradicional rota de prensagem a quente, que pode ser finalizada por infiltração metálica em alguns casos, mas também algumas destas ferramentas são produzidas por prensagem a frio e sinterização. Durante o processo, as partículas de diamante são ligadas à matriz metálica, por uma combinação de interações químicas e físicas, e se faz necessário um rígido controle dos parâmetros de processamento para evitar ataque, dissolução e/ou grafitização do diamante, o que pode afetar o desempenho final do corte.<sup>(1)</sup>

De acordo com a abrasividade do material de corte, matrizes ligantes de diferentes composições são normalmente usadas. Ligantes à base de cobre, bronze, cobalto, tungstênio, carbetos de tungstênio, bem como outras combinações são largamente utilizados nas operações de serragem de rochas abrasivas. Pequenas adições de alguns elementos de liga como ferro e níquel, também podem ser feitas para ajudar o processo de fabricação, bem como melhorar a retenção do diamante ou as propriedades de desgaste da matriz ligante.<sup>(2)</sup>

O ferro é um forte agente catalítico da transformação reversa do diamante em grafite – grafitização, e durante a sinterização (convencional, ou, mais notadamente, prensagem a quente) este fenômeno ocorre, promovendo degradação parcial ou até total dos cristais de diamantes. Neste contexto, principalmente quando trata-se de matriz ligante à base de ferro (Fe), deve-se utilizar diamantes especiais com cobertura apropriada para evitar a degradação dos cristais de diamantes, comprometer a retenção dos mesmos e, por conseguinte, não comprometer a vida útil da ferramenta.<sup>(3)</sup>

Diante disto, este trabalho se propõe o estudo inicial do processamento de ferro puro por prensagem a quente, visando a definição da condição real de processamento para futuro processamento de compósitos diamantados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizou-se a prensagem a quente para produzir todas as amostras, de ferro sinterizado. O pó de ferro utilizado foi adquirido da Merck, pureza comercial (98,80%), com tamanho médio de partícula de 85 µm.

O pó de ferro prensado a quente em matriz (molde) de eletrografite com quatro cavidades cilíndricas de diâmetro 11 mm, de forma que a altura das amostras obtidas foram aproximadamente 11 mm. Esta etapa foi realizada em prensa industrial adotando os seguintes parâmetros:

$$T = 600 - 650 - 700 - 750 - 800 - 850 - 900^{\circ}\text{C}$$

$$P = 35\text{MPa}$$

$$t = 3 \text{ minutos}$$

Terminada a etapa de prensagem a quente, as amostras foram pesadas e foi medido as dimensões para o cálculo da densidade dos compósitos sinterizados.

Avaliação das microestruturas formadas após a sinterização foi feita via microscopia ótica, após metalografia e ataque químico. Também foram feitos os ensaios de dureza Rockwell B, realizados em durômetro PANTEC, utilizando para tal uma esfera de aço tratado de 2,5 mm. Foram realizadas cinco indentações em cada amostra, com a superfície completamente lisa e plana para otimizar os resultados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as densificações atingidas, perante a variação de temperatura, para um tempo de sinterização de 3 minutos a uma pressão de 35 MPa. Obviamente, a temperatura apresenta marcante influência na densidade das amostras sinterizadas. Inicialmente, observa-se baixa densificação para amostras sinterizadas a 600°C – valor médio da ordem de 83%. Observa-se um ganho de densidade da ordem de 10%[(91-83)/ 91] ao elevar a temperatura em 50°C. Este resultado está em conformidade com trabalhos anteriores,<sup>(4,5)</sup> os quais indicam níveis de densificação da ordem de 90% – 92% para ligas com elevado teor de ferro (Fe – Co – Cu), para 650°C.

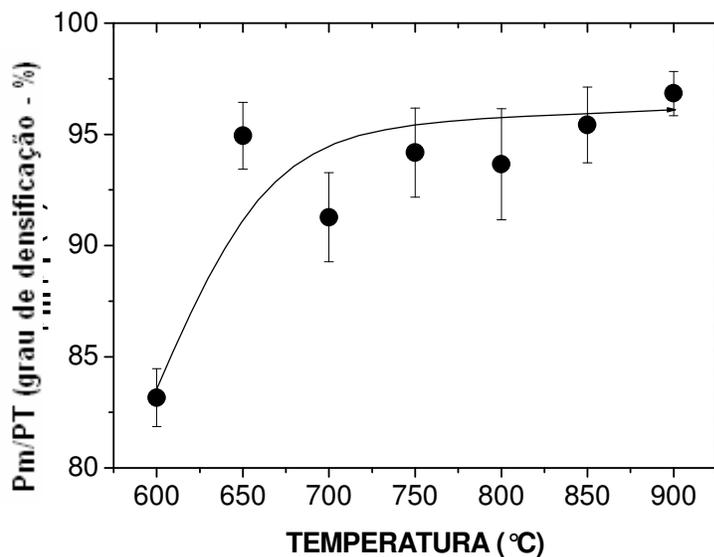


Figura 1 – Densidade dos sinterizados de ferro puro.

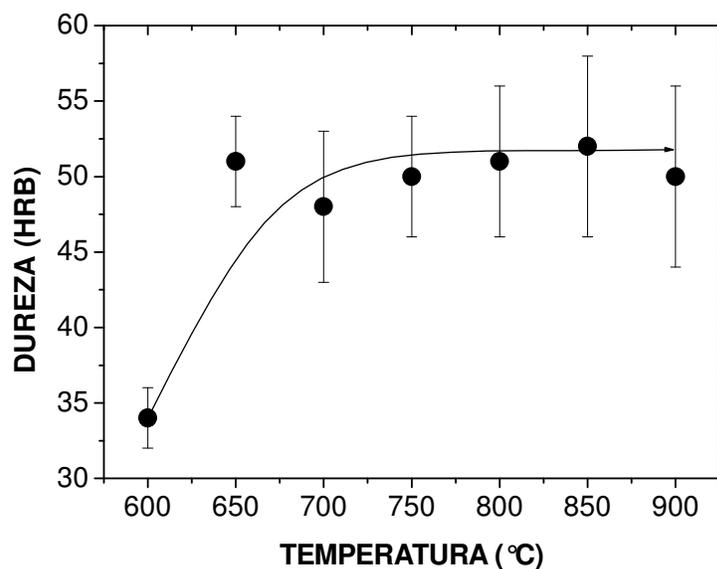


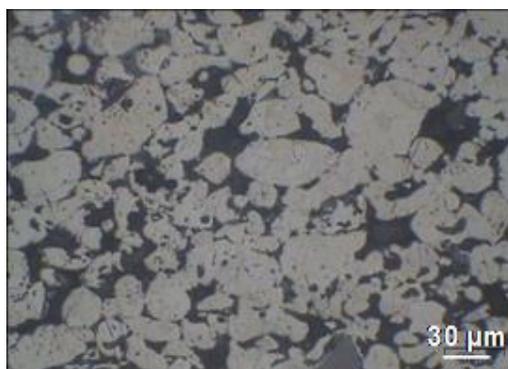
Figura 2 – Dureza Rockwell B dos sinterizados de ferro puro.

De 650°C a 900°C, a densidade das amostras oscila entre 91% e 96%, considerando-se os valores médios. Contudo, se considerados os desvios, observa-se pouca diferença entre as densidades dos sinterizados. Assim sendo, fica evidente que do ponto de vista de densificação, a temperatura de 650°C é a mais indicada neste estudo.

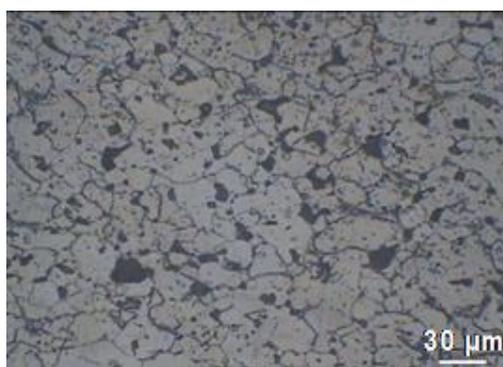
O mesmo raciocínio é válido, quando da análise da dureza das amostras, o que é de se esperar, face à relação densidade X propriedades mecânicas, bem conhecida na metalurgia do pó.<sup>(6)</sup> A Figura 2 fornece os resultados de dureza Rockwell B. Observa-se um sensível aumento da dureza (~ 45%), para amostras sinterizadas a 650°C, quando comparada com aquelas sinterizadas a 600°C. A partir da temperatura de 650°C, a dureza se mantém praticamente constante no valor médio de 51 HRB.

É notória a relação entre densidade e dureza. O perfil das curvas dos gráficos das Figuras 1 e 2 são praticamente iguais, indicando a mesma tendência.

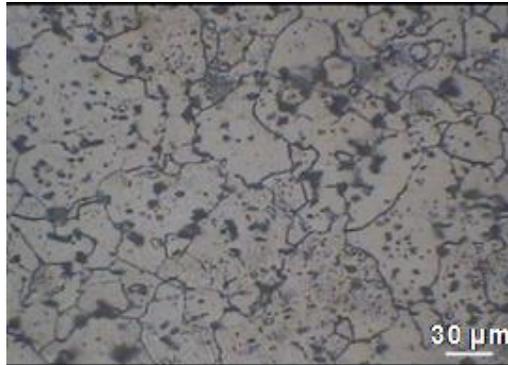
As Figuras 3 a 9 mostram as microestruturas de amostras sinterizadas por prensagem a quente, nas temperaturas de 600°C a 900°C. De uma forma geral, observa-se dois aspectos de interesse: (1) redução gradativa da porosidade com a elevação da temperatura, na distribuição tendendo a mais homogeneidade, e posterior esferoidização; e (2) crescimento de grão – coalescimento.



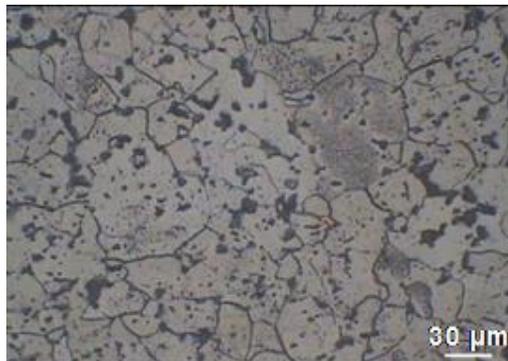
**Figura 3** – Aspecto microestrutural de amostras de ferro puro sinterizado a 600°C.



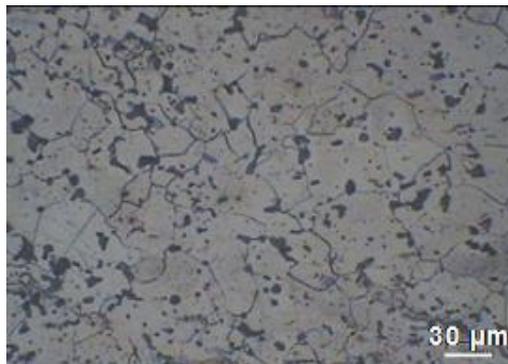
**Figura 4** – Aspecto microestrutural de amostras de ferro puro sinterizado a 650°C.



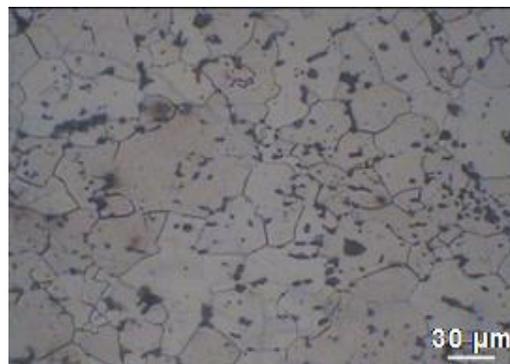
**Figura 5** – Aspecto microestructural de amostras de ferro puro sinterizado a 700°C.



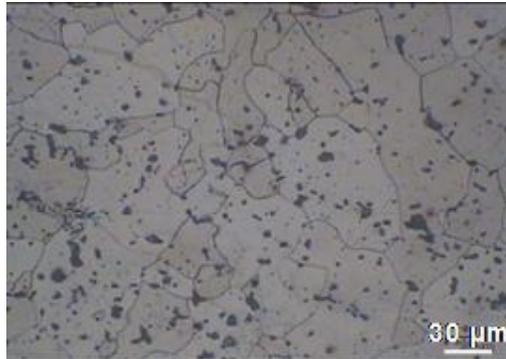
**Figura 6** – Aspecto microestructural de amostras de ferro puro sinterizado a 750°C.



**Figura 7** – Aspecto microestructural de amostras de ferro puro sinterizado a 800°C.



**Figura 8** – Aspecto microestructural de amostras de ferro puro sinterizado a 850°C.



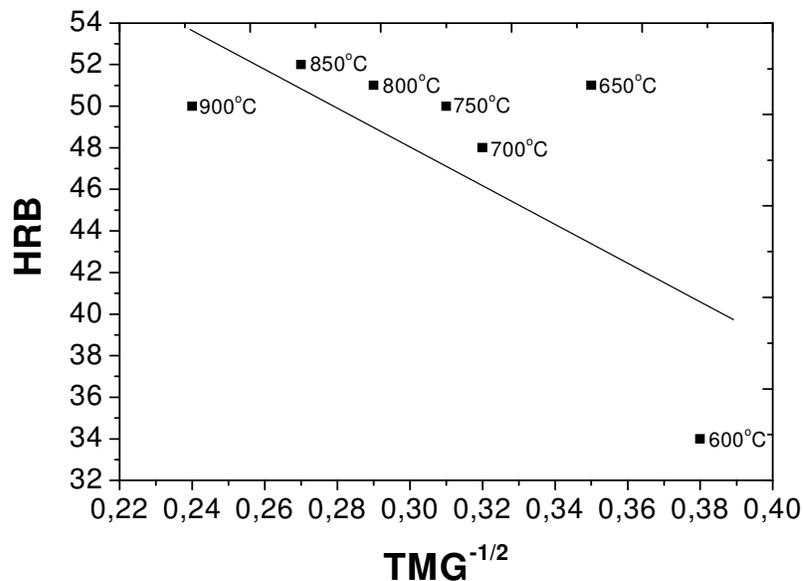
**Figura 9** – Aspecto microestrutural de amostras de ferro puro sinterizado a 900°C.

Apesar de apresentar o menor tamanho médio de grão (7 μm medida feita via método dos nós), amostras sinterizadas a 600°C apresentaram elevada porosidade (17%), aberta e irregular – característica do estágio inicial de sinterização. Por outro lado, amostras sinterizadas a 900°C apresentaram tamanho médio de grão de 17,24 μm, porém a porosidade é consideravelmente pequena (4%).

Uma vez que a temperatura de 650°C propiciou um bom resultado de densificação, cabe informar que esta promoveu uma microestrutura intermediária, com poros quase esferoidais e bem distribuídos (indicativo do estágio final de sinterização), cujo tamanho médio é de 4,5 μm, com grão poligonais, de tamanho médio de 8,22 μm.

No que tange à porosidade, é importante informar que se faz necessário uma porosidade residual na matriz metálica de uma ferramenta diamantada, visando refrigeração, e redução do atrito durante a operação de corte.<sup>(7)</sup>

Com os resultados de dureza média para cada temperatura de prensagem a quente, e medidas de tamanhos médios de grãos respectivos, utilizando a Relação de Hall – Petch (8),  $HRB \sim 1/TMG^{-1/2}$ , plota-se o gráfico da Figura 10.



**Figura 10** – Relação de Hall – Petch para os sinterizados de ferro. TMG = tamanho médio de grão e HRB = dureza Rockwell B.

Pode-se claramente observar que apenas amostras sinterizadas no intervalo de 700°C a 850°C apresentaram comportamento linear, obedecendo a relação de Hall – Petch, indicando que para estas condições, a propriedade mecânica dureza é dominada pelo tamanho de grão. Por outro lado, para T = 600°C, a dureza é dominada pela elevada quantidade de porosidade aberta e irregular. A temperatura T = 650°C, obteve-se os melhores valores resultados globais de densidade e dureza. A temperatura T = 900°C, ocorreu coalescimento mais pronunciado. Portanto, nestas três últimas condições discutidas, a relação de hall – Petch não é obedecida.

#### 4 CONCLUSÕES

1. A temperatura não foi um parâmetro de marcante influência na densificação e dureza das amostras sinterizadas em temperaturas superiores a 650°C.
2. Aspectos microestruturais que governaram a densidade e dureza foram a porosidade e tamanho de grão.
3. Dentre as temperaturas estudadas, 650°C foi a melhor, posto que nesta atingiu-se os melhores resultados globais de densificação, aspectos microestruturais, e dureza.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq por parcialmente financiar este trabalho, e o 1º autor agradece a Capes pela bolsa de estudo concedida.

#### REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, L.J.; BOBROVNITCHII, G.S.; FILGUEIRA, M.. Processing and Characterization of Impregnated Diamond Cutting Tools Using a Ferrous Metal matrix. **Int. J. Refract. Metals and Hard mater.** v.25. p.328-335, 2007.
- 2 KONSTANTY, J. The Materials Science of Stone Sawing. **Industrial Diamond Review.** n.1. pp. 28-31, 1991.
- 3 FILGUEIRA, M. **Tese** (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF/LAMAV, Campos dos Goytacazes, RJ. 157p. 2000.
- 4 KAMPHUIS, B.; SERNEELS, B. Cobalt and nickel free bond powder for diamond tools: Cobalite CNF. **Industrial Diamond Review.** n.1. p. 26-32, 2004.
- 5 DEL VILLAR, M.; MURO, P.; SÁNCHEZ, J.M.; ITURRIZA, I.; CASTRO, F. Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders. **Powder Metallurgy.** n.1. v.44. p. 82-90, 2001.
- 6 GOMES, U.U. Tecnologia dos Pós: Uma Introdução. Editora da UFRN. 142p. 1995.
- 7 OLIVEIRA, L.J.; FILGUEIRA, M. Pérolas diamantadas obtidas por metalurgia do pó: nacionalização da tecnologia. **Revista Matéria.** v.13. n.1. p.23-32, 2008.
- 8 BORGES, L.H.F. Sinterização termobárica e por fase líquida da liga de metal duro WC-10%pCo usando pós nanométricos de WC. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 109p. 2000.