

## COMPORTAMENTO DAS LIGAS Fe-Cu-Nb E Fe-Cu-Co COM DIAMANTE APÓS RESISTENCIA À ABRASÃO<sup>1</sup>

Hellen Cristine Prata de Oliveira<sup>2</sup>  
Isis Lodron de Almeida Pires<sup>3</sup>  
Roberto Vicente Silva de Abreu<sup>3</sup>  
Adriano Correa Batista<sup>4</sup>

### Resumo

Este trabalho visa avaliar a influência de adições de nióbio (Nb) no sistema Fe-Cu, para possível uso como matriz ligante para ferramentas diamantadas. Visando assim a substituição do cobalto (Co) pelo Nb nas ligas a base de cobre largamente utilizadas na indústria de ferramentas de corte diamantadas, portanto, a efeito comparativo de desempenho (resistência ao desgaste), os resultados da liga 25%pesoFe-50%pesoCu-25%pesoNb com adição de diamantes foram comparados com a liga consagrada NEXT 100 (25%pesoFe – 50%pesoCu – 25%pesoCo) com adição de diamantes. As ligas foram sinterizadas por prensagem a quente nas mesmas condições: 35 MPa/800°C/3 min. Foram realizados nestes compósitos diamantados ensaios de abrasão para verificar o desgaste, para os tempos acumulados de 2 a 20 min. O compósito diamantado produzido à base de Fe-Cu-Nb apresentou resistência ao desgaste e aderência dos diamantes melhores em relação ao compósito diamantado de Fe-Cu-Co (NEXT 100).

**Palavras-chave:** Compósitos diamantados; Prensagem a quente; Resistência a abrasão.

### PERFORMANCE OF ALLOYS Fe-Cu-Nb and Fe-Cu-Co WITH DIAMOND AFTER WEAR RESISTANCE

### Abstract

This work aims to evaluate the influence of additions of niobium (Nb) in the Fe-Cu system, for possible use as a alloy matrix for diamond tools. Thus aiming at the replacement of cobalt (Co) by Nb in the copper base alloys widely used in industry for diamond cutting tools, therefore, the comparative effect of performance (wear resistance), the results of 25 wt% Fe-50 wt% Cu-25 wt% Nb alloy with addition of diamonds were compared with NEXT 100 alloy (25 wt% Fe - 50 wt% Cu - 25 wt% Co) with addition of diamonds. The alloys were sintered by hot pressing under the same conditions: 35 MPa/800 °C/3 min. We performed these assays composite diamond wear resistance to check for the accumulated time 2-20 min. The composite diamond produced based on Fe-Cu-Nb presented wear resistance and better adhesion of the diamond with respect to diamond composite Fe-Cu-Co (NEXT 100).

**Keywords:** Diamond composites; Hot pressing; Wear resistance.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Física. Dra. Professora e Coordenadora de Projetos e Laboratórios, Centro Superior de Estudos de Manhuaçu-Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu – FACIG. Manhuaçu, MG, Brasil. \*hcpratamg@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil. Centro Superior de Estudos de Manhuaçu-FACIG. Manhuaçu, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Físico. Mestre. Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR / Campus Pato Branco. Pato Branco, PR, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos diamantados são normalmente produzidos em grande escala pelas técnicas da Metalurgia do Pó e, abrange uma ampla gama de aplicações, como processamento de rochas, engenharia civil, entre outras.

Durante o processamento, 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>(1-3)</sup>

O cobalto funciona como um ligante nas ferramentas diamantadas, pois combina perfeita compatibilidade química com o diamante nas temperaturas de processamento, uma adequada retenção do diamante e excelente resistência ao desgaste após processamento ou operação de corte, o que explica o fato de que, atualmente, a maior parte das ferramentas de corte diamantada o utiliza como matriz ligante.<sup>(1-3)</sup>

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Prensagem a Quente

As sinterizações foram realizadas na prensa a quente industrial Pyramid, utilizando os parâmetros 35Mpa/800°C/3minutos. Os pós das ligas NEXT 100 e 25%Fe-50%Cu-25%Nb receberam 4% de diamantes sem revestimento fornecido pela Element six – E6 e então foram misturados e homogeneizados e, prensados a quente em uma matriz de sinterização de eletrografite com 4 cavidades cilíndricas de diâmetro 10 mm, de forma que a altura das amostras foi de aproximadamente 10 mm.

Como as prensagens a quente foram realizadas ao ar, mesmo que sob pressão de 35 MPa, surgiu a preocupação para com a oxidação dos metais da matriz ligante, sobretudo do Nb, o qual é altamente reativo com o oxigênio.<sup>(4)</sup> Contudo, estudo realizado por Bonneau<sup>(5)</sup> mostrou que, para similares condições de prensagem a quente, com relação às apresentadas neste trabalho, o molibdênio, tão oxidante quanto o nióbio, não sofreu sensível oxidação.

### 2.2 Ensaio de Resistência à Abrasão

Os corpos sinterizados foram submetidos a ensaios de resistência a abrasão. As amostras foram acopladas verticalmente ao disco de granito em um suporte com fixador. Este suporte possui um termopar tipo K acoplado, o qual fica em contato direto com a lateral da amostra, próximo à zona de corte. A rotação da mesa de granito foi de 20 rpm, com uma força vertical (peso solto) sobre as amostras de 2 kgf, o que representa as melhores condições de ensaios nesta máquina. Os ensaios foram feitos para tempos acumulados de 2, 6, 12 e 20 minutos.

Estes estudos foram acompanhados por MEV para definição dos modos de falha, desgaste da matriz e protusão e distribuição dos cristais de diamante.

### 2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

O MEV é um equipamento amplamente empregado na investigação microestrutural dos materiais, utilizado principalmente para fornecer detalhes da

superfície, bem como imagem topográfica da superfície examinada. Diversos acessórios podem ser incorporados ao MEV com o objetivo de ampliar os resultados que podem ser obtidos.

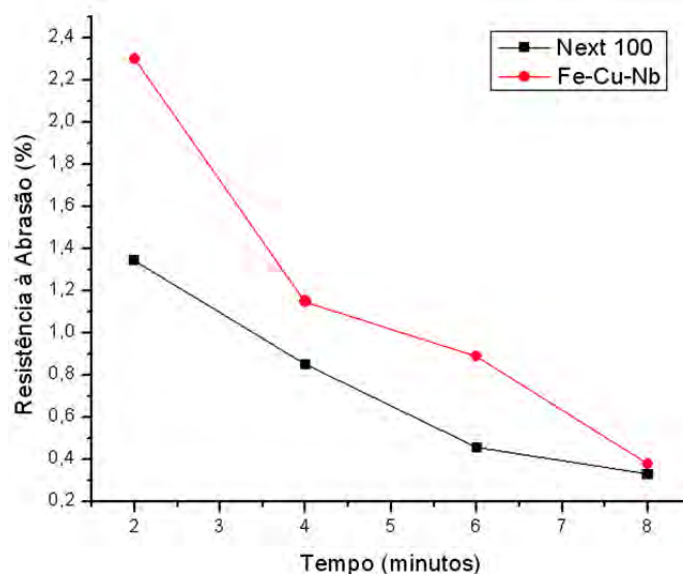
Através da análise do MEV é possível obter imagens da amostra em grandes aumentos, gerados a partir de elétrons secundários ou elétrons retroespalhados. Os elétrons secundários fornecem contraste topográfico da superfície da amostra e são os responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução, enquanto os retroespalhados fornecem imagem característica de contraste de fase, de composição e de número atômico.

A análise da microestrutura das amostras foi realizada no microscópio eletrônico Shimadzu, disponível no LAMAV/CCT/UENF, sendo as imagens geradas a partir de elétrons secundários e elétrons retroespalhados.

### 3 RESULTADOS

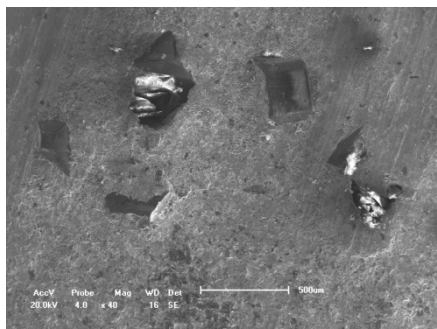
O ensaio de desgaste por abrasão é de suma importância, pois ele é o que mais se aproxima da realidade da aplicação dos compósitos. Para análise dos resultados obtidos nos ensaios, os dados foram dispostos em um gráfico que mostra a evolução da resistência à abrasão em relação ao tipo de amostra, considerando a dependência da resistência à abrasão em relação ao tempo.

A Figura 1 mostra os resultados de resistência a abrasão em função dos tempos de ensaio de desgaste por abrasão.



**Figura 1-** Teste de resistência à abrasão das amostras de NEXT 100 (liga Fe-Cu-Co) e da liga Fe-Cu-25%Nb.

A Figura 1, mostra os resultados de resistência a abrasão em função dos tempos de ensaio para as amostras estudadas, obtidas por prensagem a quente. Analisando o ensaio para o tempo de 2 minutos, nota-se que obteve-se valores mais altos de resistência a abrasão da liga de Fe-Cu-Nb-diamante comparado com a liga industrial NEXT 100-diamante. Para este tempo de ensaio, ocorre basicamente desgaste da matriz ligante para o surgimento dos primeiros diamantes, aos quais correspondem às primeiras faces cortantes para dar início ao processo de corte da pedra. Como é constatado na Figura 2.

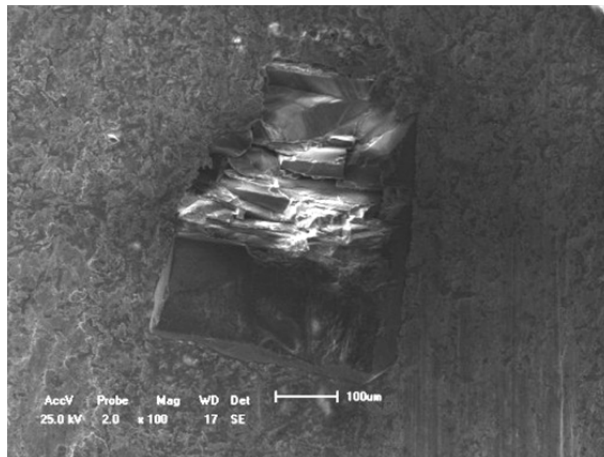


**Figura 2-** Micrografia após ensaio de resistência à abrasão com tempo de 2 minutos para a liga Fe-Cu-25%Nb.

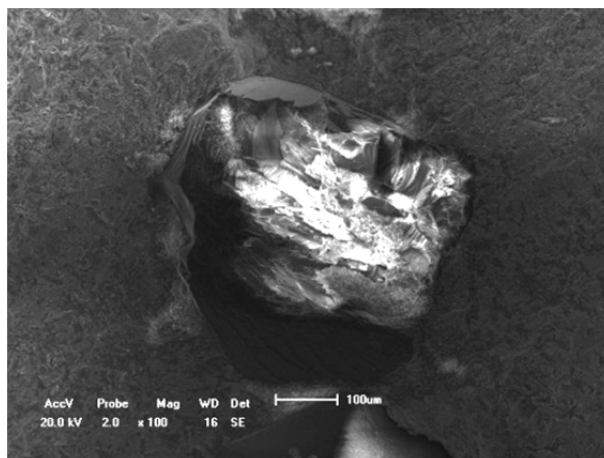
Percebe-se que para o ensaio de 6 minutos há uma diminuição da resistência a abrasão para a liga Fe-Cu-25%Nb. Isso ocorre porque nesta região o percentual de perda de massa por abrasão é maior, pois os diamantes expostos na superfície da matriz deram continuidade à operação de corte, resultando assim em perda de diamantes por fraturas e/ou protusões, como também houve retirada da camada de matriz ligante que cobria os demais diamantes uma vez que no tempo de ensaio de 2 minutos não foi suficiente para retirar essa camada totalmente.

Para o ensaio de 12 minutos, já não ocorre uma queda da resistência a abrasão tão acentuada, visto que os diamantes ainda têm bom poder de corte. Para o ensaio de 20 minutos, também não se nota queda significativa em relação ao ensaio de 2 para 6 minutos. Mas deve ser ressaltado, levando em consideração os quatro ensaios, que nesta etapa do processo de corte, verifica-se, o menor resultado de resistência a abrasão, o que mais uma vez já era esperado. Nessa região da amostra, em virtude da planificação dos grãos abrasivos de diamante, a matriz sofre intensa perda de massa pela abrasão com a pedra, expondo as demais faces dos cristais dos diamantes ainda embebidas na matriz, restando assim pouco ou quase nenhuma aderência matriz-diamante, o que conseqüentemente leva a perda (*pull-out*) ou destacamento dos diamantes pela matriz. Como pode ser analisado nas micrografias abaixo, para ensaios de maiores tempo - 20 minutos.

Em vista dos resultados apresentados de RA para a liga 25%Nb com diamantes, a liga comercial Next 100-diamantes apresentou resultados inferiores a liga Fe-Cu-25%Nb, tendo um decréscimo significativo para os tempos de ensaio de 2 a 12 minutos e uma leve queda no valor de RA aos 20 minutos de ensaio. Entretanto os diamantes presentes na liga Next 100 mostrou comportamento similar para os diamantes da liga a base de Nb.



**Figura 3-** Micrografia após ensaio de resistência à abrasão com tempo de 20 minutos em liga de Fe-Cu-25%Nb.



**Figura 4-** Micrografia após ensaio de resistência à abrasão com tempo de 20 minutos em liga NEXT 100.

Através das Figuras 3 e 4 confirma a descrição citada anteriormente das características esperadas após os ensaios de 20 minutos, seja em ligas com Cu (NEXT 100), seja em ligas com Nb.

#### 4 DISCUSSÃO

Como já dito anteriormente o comportamento das amostras para os ensaios de resistência à abrasão se deram da forma que já era esperada. Com intenso desgaste da matriz no ensaio de 2 minutos. E da metade do tempo de ensaio para o final, começa a ocorrer o trabalho de corte propriamente dito, ou seja, tem-se agora nessa região da amostra uma taxa de corte constante, ou seja, considerável quantidade de diamantes que já estão completamente expostos e com uma altura de protrusão suficiente e necessária para um bom desempenho e taxa de corte satisfatório. Já para tempos finais deste ensaio, os diamantes que trabalharam muito forte na etapa anterior para manter a taxa de corte constante, agora começam a planificar, perdendo parte de seus vértices cortantes.

Conforme essas observações cabem mais uma vez ressaltar que o desgaste da ferramenta diamantada impregnada é um processo contínuo, ou seja, a matriz deve ser capaz de reter os diamantes quando estes ainda apresentam capacidade de corte, e ao mesmo tempo eliminá-los ou destacá-los quando estes já não estão

mais aptos ao corte, para que assim surjam novas faces cortantes para dar continuidade ao processo. Então, vale reforçar, que embora o *pull-out* seja considerado um modo de falha, ele é fundamental para que a ferramenta se desgaste de forma correta e proporcione trabalho de corte satisfatório. Isto explica o fato da resistência à abrasão ter queda “suave”, de 6 a 12 minutos de ensaio para a matriz de Nb com diamantes.

A partir dos resultados em função das ligas estudadas, pode-se notar uma tendência nos valores de resistência a abrasão, com a liga de Fe-Cu-25%Nb-diamante apresentando um melhor valor de resistência a abrasão nos quatro tempos de ensaio. Segundo Del Villar et al.<sup>(1)</sup> em análise da liga Fe-Cu-Co, o cobre, responsável pela fase dúctil, tem solubilidade limitada na solução sólida Fe-Co (fase dura). Desta forma, para o compósito com cobre, haveria uma tendência de diminuição da dureza da matriz ligante, o que deveria ter causado valor de resistência a abrasão menor para as amostras com cobre.

## 5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que conseguiu-se processar compósitos diamantados por prensagem a quente, a qual é a rota industrial de processamento da metalurgia do pó.

Foram obtidos resultados satisfatórios de RA para a liga Fe-Cu-25%Nb-diamante, com resultados superiores à liga industrial NEXT 100, o qual é um pó pré-ligado do mercado internacional utilizado como matriz ligante para ferramentas diamantadas.

O comportamento dos diamantes para ambas as ligas foram os mesmos. Com o início do ensaio houve o surgimento dos cristais do diamante, sofrendo desgaste durante o corte, apresentado faces pontiagudas, irregulares e planificadas e até seu destacamento da matriz ao final do ensaio.

## Agradecimentos

A primeira autora agradece a Capes pela bolsa concedida na realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 Del Villar, M. (2001) *Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders*. Powder Metallurgy. n.1. v.44. p.82-90.
- 2 Oliveira, L.J.; Filgueira, M. (2007) *Aplicação de ligas de Fe-Cu-SiC como matriz ligante em ferramentas diamantadas*. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo. n.1, v.26. p.15-20.
- 3 Oliveira, L.J.; Bobrovnitchii, G.S.; Filgueira, M. (2007) *Processing and Characterization of Impregnated Diamond Cutting Tools Using a Ferrous Metal Matrix*. International Journal Refractory Metals and Hard Materials. v.25. p.328-335.
- 4 Filgueira, M. (1995) Tese de Mestrado. *Estudo da Sinterização Ativada do Tântalo*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). p.109.
- 5 Bonneau, M. (2006) *Feature of KEEN® Prealloyed Powders*. Proc. Euro Powder Metallurgy - Bond Systems. v.3. p.3-8.