

PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA 25,2%Fe-49,5%Cu-24,1%Co

PROCESSADA VIA PRENSAGEM A QUENTE

Hellen Cristine Prata de Oliveira¹, hcprata@yahoo.com.br,
Stênio Cavalier Cabral¹, stenio.cavalier@hotmail.com,
Renan S. Guimarães¹, renansg@yahoo.com.br,
Marcello Filgueira¹, marcello@uenf.br.

¹ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF / Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PPGECM / Av. Alberto Lamego 2000, Parque Califórnia, 28015-620, Campos dos Goytacazes/RJ.

Resumo: A maioria das ligas utilizadas como matrizes ligantes em ferramentas diamantadas mostraram um alto teor de cobalto - o que é indesejável devido a sua toxicidade e inviabilidade econômica. Na última década, foram feitas algumas tentativas para a redução do teor de Co nas ligas, um exemplo é a liga industrial NEXT 100[®] (25,2%Fe-49,5%Cu-24,1%Co). Este estudo pretende caracterizar algumas propriedades mecânicas da NEXT 100[®] - esta é uma liga comercial amplamente utilizada como matriz de ligante para os diamantes em ferramentas de corte, e as informações sobre suas propriedades são muito escassas na literatura. Os pós metálicos foram prensados a quente em uma matriz de grafite a 35MPa/800°C/3 minutos. Nas amostras sinterizadas, foram feitos ensaios de resistência ao desgaste e dureza HRB, assim como testes de densificação e compressão. Foi determinado que a liga NEXT 100[®] obtida por prensagem a quente tem boas propriedades mecânicas e elevada densificação.

Palavras chave: liga NEXT 100[®], prensagem a quente, ferramentas diamantadas

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas de corte de pedras ornamentais são caracterizadas por apresentarem como parte principal os elementos cortantes, feitos à base de compósitos diamantados, compostos basicamente de diamantes embebidos em uma matriz ligante, normalmente metálica. A ligação entre a matriz e os diamantes deve ser forte o bastante para alto desempenho durante o corte. A relação de união entre a matriz e o diamante é o que determina as características microestruturais e o rendimento da ferramenta cortante para um bom desempenho. A impregnação de diamante em metal freqüentemente revela uma reação entre a superfície do diamante e a matriz. Além da ligação mecânica, uma relação química também pode ser formada.

O uso de diamantes em ferramentas cortantes depende da capacidade da matriz para segurar os diamantes, e assim seu apoio para o processo cortante. Desta forma, a escolha de certos metais como ligantes resulta na elevada adesão para com os cristais de diamantes nas ferramentas. (Clark e Kamphuis, 2002; Del Villar et al., 2001; Oliveira e Filgueira, 2007; Oliveira et al., 2007; Yamaguchi et al., 1997).

As ligas metálicas utilizadas em ferramentas diamantadas apresentam um teor elevado de cobalto o que é indesejável, apesar de sua elevada aderência com o diamante, já que o mesmo é altamente tóxico e inviável economicamente devido sua escassez em território nacional (Clark e Kamphuis, 2002; Oliveira, 2005). Com o passar dos anos essas ligas metálicas a base de cobalto tiveram seu teor reduzido, como nas ligas de Cobalite HDR, Cobalite CNF, KEEN e NEXT (Clark e Kamphuis, 2002; Del Villar et al., 2001; Eurotungstene, 2005; Kamphuis e Serneels, 2004; De Oliveira et al., 2009).

Propriedades das ligas metálicas usadas em ferramentas diamantadas:

- Cobalite HDR – 66%Fe-7%Cu-27%Co, dura, alta resistência a oxidação e a abrasão, ótima densidade se comparada ao cobalto puro e economicamente mais em conta em relação ao cobalto puro;
- Cobalite CNF – Fe-Cu-Sn-W, apresenta uma temperatura de sinterização inferior, se utilizada com níquel e cobalto exibe um excelente desempenho, seus danos a saúde são menores se comparado com cobalto puro, boa dureza e menor densidade;
- KEEN 10 e 20 – boa resistência mecânica, alta ductilidade;
- NEXT 100 e 200 – Cu-Fe-Co, baixa temperatura de sinterização, boa dureza e densidade.

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 (Del Villar et al., 2001; Oliveira e Filgueira, 2007; Oliveira et al., 2007).

É bom ressaltar que em ligas metálicas de ferramentas diamantadas as reações entre matriz e interface do diamante são de grande importância para garantir uma boa performance das ferramentas. Uma dessas reações que deve ocorrer é aderência entre a superfície do diamante e a matriz metálica que o rodeia, para que essa ocorra vai depender de alguns fatores como: composição dos pós metálicos, tamanho e distribuição dos mesmos, existência da oxidação e redução de gases, duração do processo e processos térmicos (Oliveira, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas da matriz metálica 25,2%Fe-49,5%Cu-24,1%Co, para posterior uso em ferramentas diamantadas, sendo que as informações sobre suas propriedades são muito escassas na literatura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foi estudada a liga comercial NEXT 100[®] para uso em ferramentas diamantadas, de composição química (% em peso):

- 25,2%Fe-49,5%Cu-24,1%Co

As sinterizações destes pós metálicos foram realizadas na prensa a quente industrial *Pyramid*, que se encontra no Setor de Materiais de Alta Dureza – SMAD/UENF, utilizando os parâmetros: 35 MPa / 800 °C / 3 minutos.

A medida da densidade é um aspecto importante a ser avaliado, pois com a densificação consegue-se avaliar a efetividade da sinterização. A densificação (massa específica aparente - *MEA*) foi determinada através do Método de Arquimedes, que se baseia no empuxo exercido sobre a amostra durante sua imersão em um recipiente com água acoplado a uma balança. O cálculo da massa específica aparente (*MEA*) toma como base o valor da massa seca (*MS*), da massa imersa (*MI*) e da massa saturada (*MA*), como mostrada na Equação (1).

$$MEA = \frac{MS}{(MA - MI)} \quad \text{Eq. (1)}$$

A medida da dureza Rockwell B (HRB) foi realizada em um durômetro da marca PANTEC, modelo RBS, disponível no LAMAV/UENF, aplicando-se uma carga de 62,5 kgf e 5 indentações por amostra.

Em seguida, a matriz metálica foi submetida ao ensaio de resistência a abrasão. O material para corte foi um granito cinza, com estrutura orientada, de granulometria grossa, variando de 4 a 20 mm. Um disco de granito foi instalado horizontalmente na mesa do Simulador Físico interfaceado com computador tipo AMSLER modificado, microprocessador modelo AB800-E fabricado pela Contenco, disponível no LAMAV/UENF, e utilizam o software Pavitest Abrasímetro 2.31 para a obtenção de dados.

A amostra foi acoplada verticalmente ao disco de granito em um suporte com fixador. 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 e para estes materiais segundo estudos realizados por Oliveira (2005).

Uma vez posicionada sobre o disco de granito, a amostra se mantém fixa em uma linha de corte. A profundidade de corte no disco de granito (desgaste da mesa) foi medida por um LVDT (taxa de desgaste linear) acoplado ao eixo de fixação do suporte das amostras. Mediu-se, além da perda de massa das amostras, a força de corte desenvolvida, *in situ*, durante o tempo de ensaio. Também foram fornecidos dados de desgaste da ferramenta, volume de pedra arrancado durante todo o decorrer dos testes. As amostras foram ensaiadas em um tempo total de 20 minutos.

Para medir a variação de massa e averiguar a resistência a abrasão durante o ensaio, foram utilizadas as respectivas Equações (2) e (3):

$$\Delta M = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

onde: ΔM é a perda de massa (%); m_i é a massa inicial e m_f é a massa final.

$$RA = \frac{1}{\Delta M} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

onde RA é a resistência à abrasão (%).

O ensaio de compressão diametral foi feito em um equipamento universal de ensaios mecânicos INSTRON, modelo 5582 – 100 KN de capacidade, usando uma velocidade de 1 mm/min, disponível no LAMAV/UENF. Detalhes deste ensaio se encontram na literatura (Jonsén *et al.*, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades mecânicas e a MEA, que indica a densificação alcançada pela amostra conseguindo avaliar a efetividade da sinterização, está apresentada na Tabela (1).

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas e densificação da Liga NEXT 100 obtidas neste trabalho.

<i>Liga Metálica</i>	<i>MEA (%)</i>	<i>Dureza HRB</i>	<i>Tensão de Escoamento σ_e (MPa)</i>	<i>Resistência a Compressão σ_m (MPa)</i>	<i>Módulo de Elasticidade E (GPa)</i>
NEXT 100	99,559	125,5 ± 2,8kgf/mm ²	244,034	617,996	61,932

Segundo pesquisas realizadas com a liga comercial NEXT 100 (Del Villar *et al.*, 2001; De Oliveira *et al.*, 2009), sua estrutura é composta por duas fases, a dúctil rica em Cu e a solução sólida rica em Fe(α). Também apresenta a formação de solução sólida CoFe embebida na matriz de Cu, a qual melhora as propriedades da liga.

Os principais fenômenos de transporte de massa para a densificação são basicamente limitados pela fase rica em Cu. Este processo de densificação tem duas importantes contribuições. Primeiro, durante a etapa de compactação, onde devido ao baixo campo de tensões das partículas de Cu e o efeito da concentração de tensão produzido pela presença da segunda fase dura CoFe, o Cu pode alcançar importante deformação plástica e conseqüentemente uma densidade relativamente alta. Segundo, durante a alta temperatura de prensagem, o fluxo plástico para estas partículas de Cu altamente tensionadas é visto como um importante papel para a ativação de mecanismos de transporte de material baseados em difusão através de aglomerações e contornos de grãos (Del Villar *et al.*, 2001).

Considerando a etapa da compactação e sua influência na prensagem a alta temperatura, uma questão interessante surge em relação ao efeito da concentração de tensão das partículas duras CoFe na fase dúctil de Cu para a liga NEXT 100. As quantidades presentes de partículas sólidas de CoFe induzem uma alta deformação que agem aumentando a força motriz para a densificação. Portanto, a concentração de Cu nas ligas tem um efeito mais forte em cinética de densificação do que no seu estado de deformação, confirmado pelo elevado valor de densificação para a liga NEXT 100 (99,559%).

De acordo com a literatura, a Cobalite HDR (Clark e Kamphuis, 2002) apresentou uma densificação de 98% para temperaturas de sinterização entre 750 e 850°C. As ligas alternativas ao cobalto, chamadas DIABASE (Fe-Cu-Co-Sn) (Weber e Weiss, 2005) sinterizada em um intervalo de temperatura entre 780 e 900°C possui uma densidade de aproximadamente 98,5%. Enquanto que a liga NEXT 100 (Del Villar *et al.*, 2001) apresentou uma densidade de 97% usando temperatura de sinterização de 720°C.

Diante disto, pode-se afirmar que a liga NEXT 100 obtida neste trabalho, sinterizada a 800°C, teve valor de densificação superior as demais ligas que visam a substituição ou a diminuição do Co nas mesmas, ora citadas acima, até mesmo quando comparada a própria liga NEXT 100 (Del Villar *et al.*, 2001) sinterizada a 720°C.

A matriz metálica NEXT 100 apresentou resultado melhor para a dureza HRB do que os apresentados na literatura (Clark e Kamphuis, 2002; Del Villar *et al.*, 2001; Eurotungstene, 2005; Kamphuis e Serneels, 2004; Weber e Weiss, 2005). A liga NEXT 100 estudada neste trabalho teve um valor de dureza 125,5 ± 2,8 kgf/mm², enquanto que para a Cobalite HDR foi 108 HRB, a DIABASE com dureza entre 94 a 97 HRB e para a NEXT 100 obtida a partir da literatura, 109 HRB. Os autores observaram que a dureza final das ligas é inicialmente controlada pela porosidade verificada pela densidade de até 95%, pois acima deste valor, a propriedade é fortemente dependente da proporção Fe-Cu, ou seja, maior proporção Fe-Cu, maior é a proporção da fase dura (solução sólida CoFe), portanto, maior a dureza da liga.

No teste de compressão diametral, o valor de σ_e e σ_m pode estar relacionado com a resistência do material a deformação plástica, uma vez que esta matriz apresenta uma dureza alta, 125,5 ± 2,8 kgf/mm². Esta matriz comercial mostrou-se frágil, revelando um valor elevado de E e baixa deformação elástica, devido a presença da fase dura CoFe que gera concentrações de tensões, levando o Cu a alcançar deformação plástica significativa e conseqüentemente um módulo de elasticidade e uma densidade alta (Del Villar *et al.* 2001), como foi observado na Tabela (1).

Esta relação entre densidade e resistência à tração dos materiais foi observada no trabalho de Jonsén *et al.* (2007), verificando que a resistência dos materiais de se deformarem plasticamente aumenta na medida em que a densidade aumenta.

De Châlus (1994) comenta que para uma ótima produtividade e eficiência de corte, a matriz metálica deve conter boas propriedades mecânicas, pois durante a operação de corte, os diamantes estão sujeitos a tensões pelo contato direto com o material de corte. Essas tensões são transmitidas diretamente à matriz, sendo o seu comportamento mecânico muito importante.

Uma vez que a tensão de escoamento está relacionada com a dureza da matriz metálica, esta pode estar indiretamente relacionada à retenção para fricção (adesão) dos cristais de diamante na matriz metálica. Diante disto, a matriz metálica NEXT 100 apresentou uma relação de dureza e tensão de escoamento satisfatória, podendo ser esta viável na fabricação de compósitos diamantados.

Na Figura (1) e Tabela (2), é apresentado o valor obtido da RA para a matriz metálica NEXT 100, mostrando o seu comportamento em intervalos de tempos diferentes após ter sofrido perda de massa durante o ensaio.

Tabela 2 - Resistência à Abrasão da matriz metálica NEXT 100.

<i>Tempo (min)</i>	<i>Resistência à Abrasão (%)</i>
	NEXT 100
2	45,3
6	17,1
12	15,0
20	14,9

Inicialmente houve um decréscimo no valor de RA, provavelmente devido à camada de óxidos formada durante a sinterização. Depois de 6 minutos, a curva de RA lineariza até atingir os 20 minutos. Isto mostra que, depois de 6 minutos de trabalho de corte a liga não perdeu massa o suficiente para diminuir a qualidade de corte da mesma.

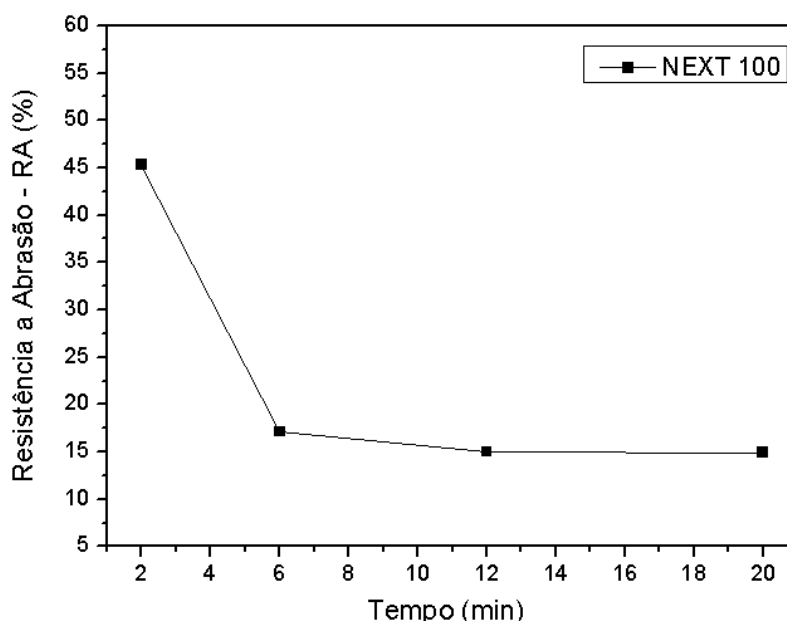


Figura 1 – Gráfico da Resistência à Abrasão *versus* Tempo da liga NEXT 100.

Não há nenhuma relação direta entre dureza e RA. Nem sempre o material mais duro é o que apresenta um bom trabalho de corte, pois se o material tiver uma dureza muito alta, a matriz poderá sofrer fratura e com adição de diamantes, estes não conseguirão manter fixados na matriz metálica durante o corte, o que prejudicaria no beneficiamento das rochas ornamentais. Isto pode ser visto claramente quando deparamos com a liga industrial NEXT 100, a qual teve o melhor resultado de dureza, mas durante o ensaio de RA, não se comportou de maneira eficiente diante das matrizes metálicas que visam à diminuição no uso de Co para tais ferramentas.

4 CONCLUSÕES

A liga NEXT 100 obtida neste trabalho, sinterizada a 800°C, teve valor de densificação e dureza superior as demais ligas que visam a substituição ou a diminuição do Co nas mesmas, ora citadas acima.

A densidade obtida pela liga NEXT 100 está associada ao mecanismo de transporte de massa durante a prensagem a alta temperatura.

A liga NEXT 100 mostrou-se com um valor elevado de E e baixa deformação elástica, devido a presença da fase dura CoFe.

Diante disto, a matriz metálica NEXT 100 apresentou uma relação de dureza e tensão de escoamento satisfatória, podendo ser esta viável na fabricação de compósitos diamantados.

A liga NEXT 100 apresentou boas propriedades mecânicas face as apresentadas na literatura.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela bolsa concedida para realização deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Clark, I.E.; Kamphuis, B. 2002, "Cobalite HDR – A New Prealloyed Matrix Powder for Diamond Construction Tools". Industrial Diamond Review. n.3. p.177-182.

De Châlus, P.A. 1994, "Metal Powders: for optimum grain retention". IDR. n.4, p.170-172.

De Oliveira, H.C.P.; Cabral, S.C.; Guimarães, R.S.; Bobrovnitchii, G.S.; Filgueira, M. 2009, "Processing and characterization of a cobalt based alloy for use in diamond cutting tools". Mat.-wiss. u. Werkstofftech. v.40, n.12, p. 907-909.

Del Villar, M.; Muro, P.; Sánchez, J.M.; Iturriza, I.; Castro, F. 2001, "Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders". Powder Metallurgy. n.1. v.44. p. 82-90.

Eurotungstene. 2005, "Keen – a new concept in prealloyed powders". Industrial Diamond Review. v.3, p. 45-47.

Jonsén, P.; Häggblad, H.A.; Sommer, K. 2007, "Tensile strength and fracture energy of pressed metal powder by diametral compression test". Powder Technology. n.176. p. 148-155.

Kamphuis, B.; Serneels, B. 2004, "Cobalt and nickel free bond powder for diamond tools: Cobalite CNF". Industrial Diamond Review. n.1. p. 26-32.

Oliveira, L.J. 2005, "Processamento e Caracterização do Sistema Fe-Cu-Diamante Para Uso em Pérolas de Fios Diamantados". Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 122p.

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.

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.

Yamaguchi, K.; Takakura, N.; Imatani, S. 1997, "Compaction and Sintering Characteristics of Composite Metal Powders". Journal Materials Processing Technology. v.63, p. 364 – 369.

Weber, G.; Weiss, C. 2005, "Diamix – A Family of Bonds Based on Diabase"-v.21. Industrial Diamond Review. n.2. p. 28-32.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE HOT PRESSED 25,2%Fe-49,5%Cu-24,1%Co ALLOY

Stênio Cavalier Cabral
Renan S. Guimarães
Guerold Sergueevitch Bobrovnitchii
Marcello Filgueira

Abstract: *Most of the alloys used as bonding matrix in diamond tools show a high content of cobalt - which is undesirable due to a series of reasons. In the last decade, some attempts were made towards the reduction of the Co content in these alloys. NEXT100[®] alloy (25,2wt%Fe-49,5wt%Cu-24,1wt%Co) by Eurotungstene is an example of it. This study aims to characterize some mechanical properties of the NEXT100[®] - this is a commercial alloy widely used as bonding matrix for diamonds in cutting tools, and the informations about its properties are very scarce in the literature. The metallic powders were hot pressed in a graphite matrix at 35MPa/800°C/3 minutes. In these sintered samples, it was made wear resistance and hardness HRB tests. Densification and compression test were performed. It was determined that the NEXT100[®] alloy obtained by hot pressed has good mechanical properties and high densification.*

Keyword: *NEXT 100[®] alloy, hot pressed, diamond tools*