

## **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO METAL DURO WC-Co/Ti**

**Jeuziane Duarte Lamim, jeuziane@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Hellen Cristine Prata de Oliveira, hellen@uenf.br<sup>1</sup>**  
**Adriano Correa Batista, adrianoCorrea77@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Cristiane Marinho dos Santos, sircmarinho@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Renan da Silva Guimarães, renansg@yahoo.com.br<sup>1</sup>**  
**Marcello Filgueira, marcello@uenf.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF / Centro de Ciência e Tecnologia – CCT / Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais – PPGECM / Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes / Rio de Janeiro, CEP: 28013-600, Brasil.

**Resumo:** *O metal duro WC-Co é um material de alta dureza, elevada resistência a compressão e ao desgaste, além de manter uma boa tenacidade e estabilidade térmica. Amostras de misturas com pós nanométricos de WC com 10% peso Co, WC-10% peso Ti, WC-9% peso de Ti-1% peso Co foram sinterizadas a uma temperatura de 1500°C no tempo de 1 hora sob vácuo de 10<sup>-2</sup> mbar para o processamento de metal duro. A análise das propriedades mecânicas dos materiais sinterizados foi realizada por meio das medidas de densificação, dureza HV30, tenacidade à fratura e ensaio de compressão. Os resultados mostraram que é possível processar metal duro nanoestruturado através de uma rota convencional de metalurgia do pó a partir de grãos nanométricos de WC e dos ligantes Co e/ou Ti com boas propriedades mecânicas.*

**Palavras-chave:** *Sinterização convencional, WC nanométrico, WC-Co/Ti, propriedades mecânicas*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os carbeto sinterizados se enquadram dentro da lista dos materiais de alta dureza, motivo pelo qual são amplamente utilizados em operações de corte, perfuração, e usinagem de modo geral (Borges, 2007; Lamim, 2009). Produto da metalurgia dos pós, o metal duro é um composto formado por uma fase cerâmica que possui alta dureza e resistência mecânica, e por uma fase metálica que confere tenacidade e plasticidade ao material. A fase cerâmica é formada pelo carbeto de tungstênio (WC), que é o elemento principal, e a fase metálica que funciona como ligante, pode ser constituída pelo Cobalto (Co) ou outros como o cobre (Cu) (Lamim, 2009; Lamim *et al.*, 2010).

A excelente resistência ao desgaste do metal duro é devido à sua combinação única de alta dureza e níveis moderados de tenacidade a fratura (McColm, 1983; Schwarzkopf e Kieffer, 1986).

Neste trabalho é apresentada a sinterização a vácuo por fase líquida do Metal duro, usando pós nanométricos de WC, e dos ligantes Co, Ti e Ti-Co, a fim de comparar os resultados e verificar a eficiência destes metais ligantes, e analisar as propriedades física e mecânicas.

Embora seja amplamente utilizada, a disponibilidade do Co no mundo é relativamente baixa, assim é de interesse sua substituição e também devido ao custo elevado, a baixa resistência à corrosão e é tóxico, gerando preocupações com a exposição ao meio ambiente (Hanyaloglu *et al.*, 2001).

Por isso, a relevância do desenvolvimento de um material a base de WC/Co, WC/Ti e WC/Ti-Co com propriedades elevadas utilizando pó nanométrico de WC via sinterização a vácuo por fase líquida. Os principais resultados obtidos foram de densificação, dureza HV30, K<sub>IC</sub>, resistência a abrasão e resistência a compressão de 98,24%, 19,24GPa, 14,36MPa.m<sup>1/2</sup>, 13,9% e 2034MPa respectivamente para as amostras de WC/Co, frente aos valores de 94,44%, 15,75GPa, 11,05MPa.m<sup>1/2</sup>, 9,4% e 1415MPa, para o sistema WC/Ti-Co.

### **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram preparadas amostras com 10% em peso de Co, 10% em peso de Ti, e 9% em peso de Ti adicionado a 1% em peso de Co usando pós nanométricos de WC, com o objetivo de comparar os resultados do Ti e Ti-Co com os do Co, a fim de verificar a eficiência dos mesmos na substituição ao Co, aliado as suas propriedades mecânicas.

Para o processamento do Metal Duro foram utilizados pós de WC fornecido pela Sumitomo com tamanho médio de partículas de 125 nm. O pó de Co fornecido pela Umicore e o de Ti fornecido pela MERCK, ambos com tamanho médio de partícula de 3,6 µm.

A mistura dos pós foi realizada a seco em um moinho de bolas de alta energia – SPEX 8000. Foi utilizado o valor de Poder de Micro Forjamento de 3:1, para o tempo de moagem de 5 horas – detalhes em Milheiro (2006).

As amostras foram produzidas, com dimensões em torno de 5 × 4 mm (diâmetro × altura), a partir das misturas compactadas em matriz de aço utilizando uma prensa hidráulica marca DAN-PRESSE de capacidade de 20 toneladas, mediante pressão de 200 MPa.

A sinterização foi realizada em um forno resistivo da bp Engenharia a 1500°C em 1 hora, sob vácuo de 10<sup>-2</sup> mbar.

Foram sinterizadas amostras de metal duro, sendo WC-10%pCo (grupo I), WC-9%pTi-1%pCo (grupo II) e WC-10%pTi (grupo III).

As amostras sinterizadas foram preparadas metalograficamente pelo método convencional para materiais de alta dureza.

## 2.1. Densificação

A densidade foi determinada através do Método Dimensional de acordo com a norma ASTM C373-72.

## 2.2. Dureza Vickers (HV30)

Os testes foram feitos em um durômetro marca Pantec, modelo RBS, aplicando uma carga de 30 kgf, que está de acordo com a literatura de Schubert *et al.* (1998).

## 2.3. Tenacidade a Fratura (K<sub>1C</sub>)

A partir das indentações das medidas de dureza HV30, foram observadas trincas que se formaram nas amostras, com as quais se calcula a tenacidade à fratura, seguindo metodologia apresentada em Hanyaloglu *et al.* (2001).

## 2.4. Ensaio de Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados em um equipamento universal de ensaios mecânicos Instron, modelo 5582-100KN de capacidade, usando velocidade de 1 mm/min.

## 2.5. Ensaio de Desgaste por Abrasão

Estes ensaios foram conduzidos em simulador físico Abrasímetro Aropol E – Arotec, utilizando rotação de 200 rpm do disco de granito e carga vertical de 500 g, durante 5 minutos com vazão de água de 0,5 L/min.

Todas as amostras foram pesadas antes e após a cada ensaio em balança digital Scaltec de precisão 0,0001g, para medir a variação de massa – equação 1 e averiguar a resistência a abrasão - equação 2, que são iguais a:

$$\Delta M = m_i - m_f / m_i \quad (\text{eq. 1})$$

onde:  $\Delta M$  = perda de massa  
 $m_i$  = massa inicial  
 $m_f$  = massa final.

$$RA = (1/\Delta M).100 \quad (\text{eq. 2})$$

onde: RA é a resistência à abrasão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os níveis de densificação que foram encontrados para todas as amostras dos três grupos, e que houve pouca variação da densificação entre os três tipos de amostras, para o menor valor 94,44% e para o de maior valor 98,24%.

Porém cabe ressaltar que as variações dos resultados de densificação aqui apresentados, podem ser explicadas devido ao próprio manuseio dos pós após a mistura podendo levar a segregação do ligante, prejudicando a homogeneidade da mistura. A má distribuição do ligante pode levar a deficiência da sinterização em fase líquida, promovendo menor fechamento dos poros e, reduzindo a densificação do material. Isto merece atenção especial, uma vez que o Ti é duas vezes mais leve que o Co, e cerca de 3/2 do que o WC.

Tabela 1 – Densificação das amostras sinterizadas

<b>Grupos</b>	<b>Densificação (%)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>I</b>	98.24	0.12
<b>II</b>	96.41	0.02
<b>III</b>	94.44	0.04

Na literatura de Da Silva *et al.* (2001) relata que os carbeto cementados são sinterizados por fase líquida. Após ser atingida a temperatura do eutético, o cobalto líquido fluirá para molhar e formar um filme ao redor das partículas sólidas (WC). O filme líquido fornece uma tensão superficial, resultando no rearranjo das partículas. Como consequência, uma grande quantidade de porosidade é eliminada do compactado verde. Isto provavelmente ocorreu na sinterização das amostras sinterizadas contendo Cobalto como ligante – grupo I. Além disso, estas amostras apresentaram uma densificação de 98,24%, sem o uso de inibidores de crescimento de grão.

Em adição, os resultados de densidade de metal duro do trabalho de Da Silva *et al.* (2001) quando comparados a este trabalho mostram coerência.

A tabela 2 mostra os valores de dureza Vickers (HV30) para as amostras de metal duro. Pode-se observar que as amostras do grupo I apresentaram uma média de dureza de 19,24 GPa, o que está de acordo com os valores citados na literatura para metal duro (WC nanométrico) com 10%pCo, sinterizado convencionalmente (Park *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2005; Gille *et al.*, 2002; Cha *et al.*, 2001; Gille *et al.*, 2000).

Os valores de dureza foram consideravelmente expressivos, mas houve redução da dureza nas amostras que não continham cobalto (grupo III), ou que tinham em pouca quantidade de Co (grupo II), isto pode ser atribuído aos resultados de densificação das amostras. Estes resultados estão em pleno acordo com os obtidos para o estudo de densificação.

Tabela 2 – Dureza Vickers (HV30) das amostras sinterizadas

<b>Grupos</b>	<b>HV30 (GPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>I</b>	19.24	0.12
<b>II</b>	16.43	0.24
<b>III</b>	15.75	0.31

Levando-se em conta os desvios das medidas, pode-se dizer que os resultados estão entre 11 e 15 MPa.m<sup>1/2</sup>, o que está próximo aos resultados reportados por Gille (2002), e acima dos valores 8 – 10 MPa.m<sup>1/2</sup> encontrados por Park *et al.* (2007) e Sánchez *et al.* (2005).

As amostras de WC-10%pCo (grupo I), obtiveram melhores valores de K<sub>IC</sub>, o que era esperado, uma vez que poucas e pequenas trincas foram geradas.

Com os valores da tabela 3, fica claro que bons resultados de tenacidade à fratura foram conseguidos. Isto pode ser atribuído ao tamanho inicial do grão nanométrico do pó de WC.

Tabela 3 – Tenacidade à Fratura (K<sub>IC</sub>) das amostras sinterizadas

<b>Grupos</b>	<b>K<sub>IC</sub> (MPa.m<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>I</b>	14.36	0.08
<b>II</b>	12.83	0.12
<b>III</b>	11.05	0.08

Nos grupos II e III das amostras de WC-10%pTi e WC-9%pTi-1%pCo, tem-se uma queda mais intensa nos valores da tenacidade à fratura, possivelmente por causa de defeitos microestruturais (poros e/ou trincas) nas amostras, os quais atuam como fatores de concentração de tensões, diminuindo a tenacidade do material.

Dentre as séries de metal duro produzidas neste estudo, pode-se observar que há uma perda em resistência à tração em compressão, da ordem de 30%, ao introduzir o titânio como ligante – tabela 4. Isto se deve às diferentes microestruturas formadas, sobretudo à maior quantidade de poros existentes nas amostras com Ti, o que conduz a resultados inferiores nas propriedades mecânicas. O mesmo ocorreu com a dureza, como já visto.

Tabela 4 – Valores da resistência à compressão (σ<sub>R</sub>) das amostras processadas.

<b>Grupos</b>	<b>σ<sub>R</sub> (MPa)</b>
<b>I</b>	2034
<b>II</b>	1300
<b>III</b>	1415

Fator interessante é que a resistência do metal duro com Ti puro é um pouco superior à do Ti com Co (WC-9%pTi-1%pCo). Isto é explicado pelo fato de terem ocorrido, durante a sinterização das amostras WC/Ti a formação Ti-W-C, e TiC, que são carbeto duros, os quais aumentam a resistência à compressão. Por outro lado, a adição do Co ao titânio, reduz a quantidade da formação destes citados carbeto.

Fica evidente que o cobalto promove maior resistência no metal duro e isto se deve à formação do eutético W-Co-C, o qual facilita a sinterização do metal duro, via formação de fase líquida, o mesmo não foi observado com o Ti.

Tabela 5 – Valores colhidos da literatura, de resistência à tração em flexão de metal duro.

<i>Material</i>	<i>Particularidades</i>	<i><math>\sigma_R</math>, MPa</i>	<i>Referência</i>
<b>WC-27%pCo</b>	1 $\mu\text{m}$ – WC.	750	Kursawe et al., 2001
<b>WC-5%pCo</b>	0,5 $\mu\text{m}$ – WC.	1523	Ferreira et al, 2009
<b>WC-15%pCo</b>	1 $\mu\text{m}$ – WC.	1912	Ferreira et al, 2009

Com relação à literatura – Tabela 5, os valores obtidos são muito superiores ao encontrado por Kursawe e colaboradores (2001), isto se deve ao fato de que o teor de fase ligante usado é de 27% em peso, ou seja, 2,7 vezes mais ligante.

Analisando o resultado obtido de 2034 MPa, observa-se que este está no mesmo patamar de resultado obtido por Ferreira e colaboradores (2009), quando trabalhando com pós de 1  $\mu\text{m}$  de WC, e com 15% em peso de Co. O valor está um pouco acima, já que esta literatura revela que o tamanho de partícula é micrométrico, e o teor de ligante é maior. Contudo, o valor desta literatura é superior aos valores obtidos nesta pesquisa, utilizando o Ti como ligante. Fica evidente que o cobalto promove maior resistência no metal duro – e isto se deve à formação do eutético W-Co-C, o qual facilita a sinterização do metal duro, via formação de fase líquida. Isto não ocorreu com o Ti.

Na tabela 5 foram calculados os valores da resistência à abrasão (RA), onde se pode observar a perda de massa das amostras de WC-10%pCo (grupo I), demonstrando o quanto este material é resistente frente às amostras dos grupos II e III.

Tabela 5 – Resistência à abrasão (RA) das amostras sinterizadas

<i>Grupos</i>	<i>RA (%)</i>
<b>I</b>	13,9
<b>II</b>	10,6
<b>III</b>	9,4

De forma geral as amostras de metal duro do grupo I apresentaram resistência à abrasão superior. O decréscimo do valor de RA para os grupos II e III pode ser atribuído ao fato destas últimas apresentarem Ti na composição do ligante, obtendo o metal duro com caráter frágil. Lamim *et al.* (2010) dedica-se ao estudo estrutural e microestrutural, indicando que valores mais baixos de propriedades mecânicas dos grupos II e III, devem-se à ausência de fase líquida durante a sinterização.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho exploratório, trata da proposta de sinterização e exploração das propriedades física e mecânicas de metal duro (WC-10%pCo), (WC-9%pTi-1%pCo) e (WC-10%pTi), a partir de pós nanométricos de WC, processados através da sinterização por fase líquida, onde obtivemos resultados no que diz respeito ao avanço no conhecimento de sinterização do metal duro.

Fazendo um paralelo entre densidade e dureza, conclui-se que as amostras dos grupos I e II apresentaram os maiores valores, pois densificação e dureza são conseguidas pelo aumento das áreas de contato interpartículas e por melhor empacotamento destas, os quais foram proporcionados pelo tamanho nanométrico dos grãos de WC de partida onde se obtém uma dureza elevada quando se tem redução na granulometria do pó.

Verifica-se, então, que as amostras que apresentaram as melhores combinações HV30 e  $K_{IC}$  foram às do grupo I (WC-10%pCo). Contudo, os valores de HV30 e  $K_{IC}$  obtidos para metal duro sinterizados com Ti e Ti+1%pCo são muito satisfatórios.

De forma geral, as amostras do grupo I apresentaram melhor relação HV30 x  $K_{IC}$  x  $\sigma_R$  x RA.

Os resultados do trabalho mostraram que é possível processar metal duro, utilizando Ti como fase majoritária constituinte do ligante, com boas propriedades mecânicas.

#### 5. REFERÊNCIAS

Borges, L. H. F., (2007) “Sinterização Termobárica e por Fase Líquida da Liga de Metal Duro WC-10%p Co Usando Pós Nanométricos de WC”. Dissertação de Mestrado, UENF.

- Cha, S.I.; Hong, S.H.; Kim, K.B. (2001) Mechanical Properties of WC-10Co Sintered from Nanocrystalline spray conversion Processed Powders. Int. J. Ref. Met. & H. Mater. V. 19, p. 397-403.
- Da Silva, A.G.P.; Schubert, W. D.; Lux, B. (2001) The Role of Binder Phase in the WC-Co Sintering. Materials Research, v. 4, n. 2, p. 59-62.
- Ferreira, J.A.M.; Pina Amaral, M.A.; Antunes, F.V.; Costa, J.D.M (2009) A study on the mechanical behaviour of WC/Co hardmetals. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v. 27, p. 1-8.
- Gille, G.; Bredthauer, J.; Heinrich, W. (2000) Advanced and New Grades of WC and Binder Powder – Their Properties and Application. Int. J. Ref. Met. & H. Mater. V.18, pp. 87-102.
- Gille, G.; Szesny, B.; Dreyer, K.; Berg, H.; Shmidt, J.; Gestrich, T.; Leitner, G. (2002) Submicron and Ultrafine Grained Hardmetals for microdrills and metal cutting inserts. Int. J. Ref. Met. & H. Mater. V.20, p. 3-22.
- Hanyaloglu, C. et al. (2001) Production and Indentation Analysis Of WC/Fe-Mn as an Alternative to Cobalt Bonded Hardmetals. Materials Characterization. V. 47, pp. 315-322.
- Kursawe, S.; Pott, Ph.; Sockel H. G.; Heinrich W.; Wolf, M. (2001) On the influence of binder content and binder composition on the mechanical properties of hardmetals. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, v. 19, p. 335-340.
- Lamim, J. D., (2009) “Sinterização e Caracterização de Ligas de Metal Duro Contendo Cobalto e Titânio Usando Pós Nanométricos de WC”. Dissertação de Mestrado, UENF.
- Lamim, J.D.; De Oliveira, H.C.P.; Batista, A.C.; Guimarães, R.S.; Filgueira, M. (2010) Use of Ti in hard metal alloys – Part I: structural and microstructural analysis. Mat.-wiss. u.Werkstofftech. n.4, 41, pp. 198-201.
- McColm, I.J. (1983) Ceramic Science for Materials Technologists. New York: Chapman and Hall. p.321.
- Milheiro, F. A. C., (2006) “Produção e caracterização de pós compósitos nanoestruturados do metal duro wc-10CO por moagem de alta energia”. Dissertação de Mestrado, UENF.
- Park, S.J.; Cowan, K.; Johnson, J.L.; German, R.M. (2007) Grain size measurement methods and models for nanograined WC-Co. Int. J. Ref. Met. & H. Mater, v. 26, p. 152-163.
- Sánchez, J.M.; Ordóñez, A.; González, R. (2005) HIP After Sintering of Ultrafine WC-Co Hardmetals. Int. J. Ref. Met. & H. Mater. V. 23, p. 193-198.
- Schwarzkopf, P.; Kieffer, R. (1986) Cemented carbides. New York: MacMillan.
- Schubert, W.D.; Neumeister, H.; Kinger, G.; Lux, B. (1998) Hardness to Toughness Relationship of Fine Grained WC-Co Hardmetals. Int. J. Ref. Met. & H. Mater. V. p133-142.

## MECHANICAL PROPERTIES ANALYSES OF THE WC-CO/Ti HARD METAL

Jeuziane Duarte Lamim, jeuziane@gmail.com<sup>1</sup>  
Hellen Cristine Prata de Oliveira, hellen@uenf.br<sup>1</sup>  
Adriano Correa Batista, adrianoCorrea77@gmail.com<sup>1</sup>  
Cristiane Marinho dos Santos, sircmarinho@gmail.com<sup>1</sup>  
Renan da Silva Guimarães, renansg@yahoo.com.br<sup>1</sup>  
Marcello Filgueira, marcello@uenf.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF / Centro de Ciência e Tecnologia – CCT / Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais – PPGECM / Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes / Rio de Janeiro, CEP: 28013-600, Brasil.

**Abstract:** WC-Co hard metal is a material of high hardness, high compressive strength and wear resistance while maintaining good toughness and thermal stability. Samples of nanosized WC powders with 10 wt% Co, WC-10 wt% Ti, WC-9 wt% Ti-1 wt% Co were cold pressed at 200 MPa and sintered at 1500 °C during 1 hour under vacuum of 10<sup>-2</sup> mbar. The characterization of the sintered materials was performed by the measurements of densification, HV30 hardness, fracture toughness and compression. The results showed that it is possible to process a hard metal through a Powder Metallurgical conventional route from nanoscaled WC grains, using Ti (or a Ti-Co mixture) as a binder phase, with good mechanical properties.

**Keywords:** conventional sintering, nanosized WC, WC-Co/Ti, mechanical properties