

## COMPORTAMENTO DE DENSIFICAÇÃO DO PÓ COMPÓSITO W-Cu CONSTITUÍDO POR NANOCRISTALITOS DE TUNGSTÊNIO

F. A. da Costa<sup>1</sup>, F. Ambrozio Filho<sup>1</sup>, N. B. de Lima<sup>1</sup>, U. U. Gomes<sup>2</sup>, C. Alves Junior<sup>2</sup>, A. G. P. da Silva<sup>3</sup>  
e D. Rodrigues<sup>4</sup>

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, São Paulo/SP, CEP: 05508-000 –  
francineac@yahoo.com

<sup>1</sup> Laboratório de Metalurgia do Pó – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

<sup>2</sup> Departamento de Física Teórica e Experimental – Universidade Federal do Rio G. do Norte

<sup>3</sup> Laboratório de Materiais Avançados – Universidade Estadual do Norte Fluminense

<sup>4</sup> Laboratório de Metalurgia do Pó e Materiais Magnéticos – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

A densificação do compósito W-Cu é dificultada pela mútua insolubilidade do sistema tungstênio-cobre e pela baixa molhabilidade do tungstênio pelo cobre líquido. Apesar disso, o uso de pós compósitos W-Cu produzidos por moagem com bolas de alta energia (MBAE), que obtêm alta dispersão e homogeneização das fases e constituídos por nanocristalitos de tungstênio, pode produzir nanoestruturas e densidades próximas à densidade teórica. Este trabalho discute o comportamento de densificação do pó W30%pCu preparado através de MBAE em moinho planetário durante 51 horas. O pó é constituído por partículas compósitas W-Cu com nanocristalitos de tungstênio. Amostras compactadas desse pó foram sinterizadas em fase sólida e em fase líquida. As microestruturas sinterizadas são analisadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O comportamento de densificação é observado através das medidas de densidade. A difração de raio X (DRX) foi usada para se calcular o tamanho de cristalito e a presença de contaminantes é averiguada através de espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

Palavras-Chaves: Sinterização, pó compósito W - Cu nanoestruturado, moagem de alta energia.

### INTRODUÇÃO

As pseudo-ligas de W-Cu são largamente usadas na Indústria Eletromecânica como material para contatos elétricos e em eletrodo de solda por causa da sua alta condutividade térmica e elétrica, alta resistência contra erosão por arco e baixo coeficiente de expansão térmica<sup>(1-2)</sup>. Há um crescente interesse nas pseudo-ligas de W-Cu devido as suas superiores propriedades de direcionamento térmico e alta capacidade de absorção de microndas<sup>(3,4)</sup>. A técnica de infiltração do Cu líquido numa estrutura porosa pré-sinterizada de W ou a técnica de sinterização por fase líquida são geralmente usadas para consolidar as peças fabricadas com pó de W-Cu misturado. Todavia, os pós de W-Cu compactados apresentam baixa sinterabilidade e alta heterogeneidade estrutural quando sinterizados por fase líquida e especialmente quando sinterizados por fase sólida antes da fusão do Cu<sup>(5-8)</sup>. Isto se deve a mútua insolubilidade e ao alto ângulo de contato exibido pelo sistema W-Cu.

A adição de uma pequena quantidade de metais como Co, Ni, Pd ou Fe pode aumentar a sinterabilidade do pó de W-Cu através do processo de sinterização ativada<sup>(9-13)</sup>. Apesar dos ativadores de sinterização contribuírem para obtenção de alta densidade, eles prejudicam as propriedades térmica e elétrica da matriz de cobre<sup>(14)</sup>. Isto faz com que a técnica de sinterização ativada não possa ser utilizada para elevar a sinterabilidade do sistema W-Cu. O uso de pós de W-Cu, obtidos através de MBAE dos pós elementares de W e Cu<sup>(15-17)</sup> ou de óxidos desses pós<sup>(18,19)</sup>, produz densidade próxima da densidade teórica, quando amostras compactadas são sinterizadas por fase líquida. A temperatura necessária para alcançar densificação próxima da teórica é inferior à temperatura de sinterização por fase líquida do pó de W-Cu preparado convencionalmente. Recentes trabalhos<sup>(20,21)</sup> mostram que os pós de W-Cu NC sofrem significativa densificação durante o processo de sinterização por fase sólida e tentam explicar os mecanismos que atuam nesse estágio de sinterização.

Nesse trabalho, o comportamento de densificação do pó de W-Cu NC produzido através de MBAE durante a sinterização por fase sólida e por fase líquida foi investigado por meio de

observação microestrutural no MEV. A evolução do tamanho dos cristalitos dos constituintes (W e Cu) do pó W-30%pCu NC foi averiguado por meio de DRX.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O pó de tungstênio usado tem tamanho médio de partícula 0,78  $\mu\text{m}$  e foi adquirido da Wolfram B.H. (Áustria). Um pó de cobre usado foi produzido por atomização. Ele tem um tamanho médio de 28  $\mu\text{m}$ , sendo fornecido pela Metalpó Indústria e Comércio Ltda (Brasil). Esses pós foram usados na preparação do pó W-30%pCu NC através da MBAE. O processo de MBAE foi realizado em moinho planetário (Fritsch Pulverisette 7), usando recipiente (50 ml em volume) e bolas (14,8 mm em diâmetro) de metal duro. O tempo de moagem é 51 horas. A velocidade usada na moagem foi de 5 unidades na escala de 1 a 10 mostrada no equipamento. A carga de pó foi de 30 g e a razão em peso de pó para as bolas de 4:10. A moagem foi realizada a seco tendo o ar como atmosfera. A microestrutura do pó foi investigada por MEV. A análise de EDS foi usada para se observar a presença de contaminantes introduzidos durante a moagem. A DRX foi usada para se obter informações a respeito das fases e do tamanho D dos cristalitos de tungstênio e cobre. O tamanho dos cristalitos foi calculado através da Equação (1) <sup>(22)</sup>.

$$D = 0,9\lambda/B\cos\theta \quad (1)$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $\theta$  é o ângulo de difração e o parâmetro B é a largura do pico a meia altura.

O pó de W-30%pCu NC foi prensado a 210 MPa em matriz cilíndrica uniaxial. Amostras em forma de disco com 9,7 mm de diâmetro e altura entre 2,1 e 2,6 mm foram produzidas. A densidade verde das amostras compactadas do pó W-30%pCu NC foi de  $61\pm 1\%$  do valor de densidade teórica. As amostras foram sinterizadas em forno resistivo sob atmosfera de hidrogênio. As medidas de temperatura foram obtidas através do termopar fixado sobre a amostra dentro do forno. A tabela 1 mostra as condições de realização dos experimentos de sinterizações. As densidades das amostras verdes e sinterizadas foram determinadas através da relação massa/volume. O volume foi medido por micrômetro digital. O crescimento dos nanogrãos de tungstênio foi observado por MEV e o tamanho dos seus cristalitos foi medido por DRX.

Tabela 1. Condições de sinterização das amostras do pó W-30%pCu NC.

Amostras do Pó W-30%pCu NC	Tempo em Isotherma (min.)	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min.)
1	0	930	10
2	0	1045	7,6
3	0	1095	7,6
4	0	1145	7,6
5	60	1200	10

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MBAE realizada no pó de W-30%pCu produziu partículas compósitas formadas por nanocristalitos de tungstênio e cobre (fig. 1). A alta energia do impacto das bolas contra as partículas dos pós de tungstênio e cobre provoca grande dispersão das fases e alto refinamento do tungstênio. Como resultado, surge uma nova partícula formada pelas duas fases, denominada de partícula compósita. As partículas compósitas são formadas pela introdução dos cristalitos de tungstênio na matriz de cobre e o seu contínuo refinamento e dispersão.

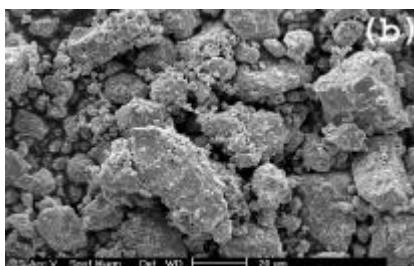
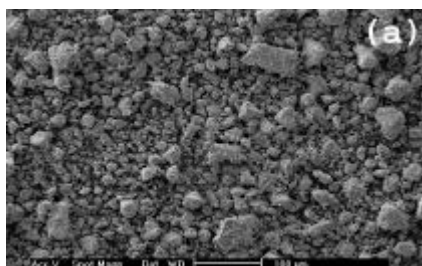


Figura 1. (a) Micrografia do pó compósito W-30%pCu NC após MBAE a seco por 51h e (b) detalhe das partículas apresentadas na micrografia (a).

Isto ocorre durante as sucessivas colisões entre as partículas de tungstênio e cobre, os meios de moagem e as paredes do recipiente de moagem. Durante as colisões, as partículas sofrem deformação, soldagem a frio, fratura, re-soldagem a frio e fratura. Este processo ocorre até o pó alcançar um equilíbrio na forma e tamanho das partículas. A forma da partícula compósita é completamente diferente da forma das partículas originais de tungstênio e cobre, de modo que não é mais possível distinguir as partículas originais de tungstênio e cobre. A análise de EDS do pó compósito W-30%pCu NC (fig. 2) mostra que mesmo após 51 horas de MBAE nenhuma contaminação foi introduzida. Os picos de ouro apresentados são originários da preparação das amostras para a observação no MEV.

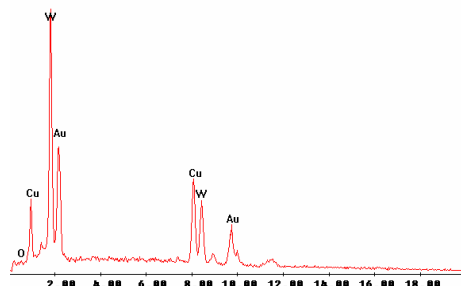


Figura 2. Análise de EDS do pó compósito W-30%pCu NC após MBAE a seco por 51h.

A tabela 2 mostra o tamanho dos cristalitos do pó W-30%pCu NC e dos pós iniciais de tungstênio e cobre, conforme cálculo feito a partir do DRX. Os valores de tamanho dos cristalitos mostram a influência da MBAE sobre o refinamento das fases do pó W-30%pCu NC. O tamanho dos cristalitos dos pós iniciais de tungstênio e cobre sofre uma grande redução durante a moagem. Todavia, o refinamento dos cristalitos da matriz de cobre foi mais intenso (73% do tamanho inicial). Isto se deve a maior quantidade de deslocamentos e defeitos introduzidos na rede do cobre pela MBAE.

Tabela 2. Tamanho de cristalitos do W e do Cu calculado sobre os picos  $[110]^W$  e  $[111]^{Cu}$ .

PÓS	$\theta_W$ ( $^\circ$ )	$\theta_{Cu}$ ( $^\circ$ )	$B_W$ (rad)	$B_{Cu}$ (rad)	$D_W$ (nm)	$D_{Cu}$ (nm)
W PURO	20,14	-	$0,24\pi/180$	-	35,3	-
Cu PURO	-	21,58	-	$0,19\pi/180$	-	45
W-30%pCu NC	20,16	21,6	$0,48\pi/180$	$0,7\pi/180$	18	12

A figura 3 mostra a variação na densidade das amostras do pó W-30%pCu NC, sinterizadas aquecidas em 1200°C em atmosfera de hidrogênio. Como mostrado nessa figura, a sinterização das amostras do pó W-30%pCu NC em fase sólida, a 1045°C, produziu 10% de densificação da sua estrutura. Observa-se também que grande percentual de densificação, cerca de 19%, ocorre entre 1045°C e 1095°C. A explicação para essa alta densificação é a ocorrência do grande rearranjo de partícula produzida pelo "amolecimento" do cobre à medida que a temperatura se aproxima de seu ponto de fusão.

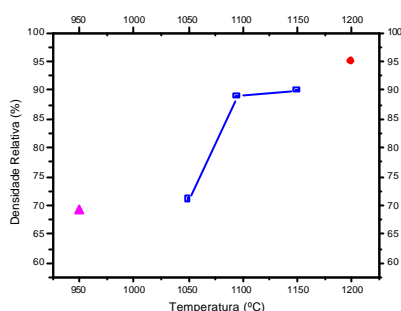


Figura 3. Elevação da densidade em função da temperatura das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas sem tratamento térmico em isoterma e tratada termicamente por 1 hora.

As amostras sinterizadas a 1200°C por 1 hora alcançaram maior densidade, 95% do valor teórico. Apesar disso, sua densidade foi apenas 5% maior que a densidade das amostras sinterizadas a 1145°C sem tratamento térmico em isoterma. As figuras 4 e 5 mostram as micrografias das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 930°C e 1045°C, respectivamente.

Como mostrado pela figura 4(a), a microestrutura da amostra sinterizada a 930°C apresenta partículas com a forma externa idêntica à forma das partículas dos pós moídos. O tamanho dos grãos de W, no interior das partículas (fig. 4(b)) é muito pequeno, embora esses já possam ter começado a crescer. Após a sinterização a 1045°C, os grãos de W estão claramente maiores (fig. 5(b)) e o Cu começa a deixar as partículas e se espalhar, preenchendo os espaços vazios existentes entre essas partículas. Resultados semelhantes foram relatados por Ryu et al.<sup>(20)</sup>. O alto percentual de densificação do pó W-Cu NC, alcançado durante a sinterização por fase sólida (fig. 3), deve-se à saída do Cu das partículas compósitas e o preenchimento da porosidade em torno dessas partículas. A saída do cobre em temperatura antes da fusão do Cu indica que rearranjo de partículas do pó W-Cu NC ocorre durante a sinterização por fase sólida antes da fusão do cobre.

A figura 6 exibe a estrutura das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 1095°C com tempo nulo de isoterma. Suas características microestruturais são semelhantes àquelas das amostras sinterizadas a 1045°C. Todavia, o crescimento dos grãos de W dentro das partículas compósitas é mais expressivo. Isto mostra que dois mecanismos de sinterização ocorrem durante a sinterização por fase sólida: 1) a sinterização dos nanogrãos de W por coalescência de diferentes nanogrãos. Isto ocorre no interior das partículas compósitas. O crescimento dos grãos de W produz uma rede de grãos interligados. Com o aumento de temperatura, esta rede começa a contrair e a diminuir o espaço entre os grãos de W. O cobre, ao ser aquecido em temperatura entre 1000 e 1045°C, amolece e sai das partículas. 2) A saída do cobre do interior das partículas compósitas proporciona o preenchimento dos vazios em torno dessas partículas e sua difusão por forças de capilaridade para outros locais de porosidade aberta. Isto produz grande instabilidade no arranjo das partículas, de modo que a estrutura começa a se rearranjar. Como conseqüência, a estrutura das amostras do pó W-Cu NC experimenta uma grande densificação durante a sinterização por fase sólida, em comparação à densificação em sinterização em fase sólida de pós convencionais. Lee e Kim<sup>(23)</sup> fizeram relatos semelhantes. Conforme seus resultados, a sinterização por fase sólida de pós de W-Cu nanocompósitos ocorre através de dois processos independentes: a sinterização do W-W através do crescimento de grão e a agregação do W-Cu por difusão do Cu.

A figura 7 exibe a estrutura das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 1200°C por 1 hora. A sua estrutura é semelhante àquelas outras duas das amostras sinterizadas em temperaturas inferiores e com tempo nulo de isoterma. Ela possui aglomerados de nanogrãos de W que lembram a mesma forma das partículas compósitas, embora os grãos de W tenham crescido significativamente. O tamanho médio dos grãos de W dessa microestrutura (fig. 7(b)) chega a 600 nm. Outra particularidade é o pequeno número de poros presentes na sua microestrutura e a alta densidade alcançada, cerca de 95% da densidade teórica (fig. 3). É visível que os grãos de tungstênio mantêm-se aglomerados, delineando a forma original das partículas compósitas. Ou seja, estes grãos não se

dispersaram, homogeneizando a estrutura. Segundo pesquisas<sup>(15,16)</sup> com pós W-Cu NC produzidos através de *Mechanical Alloying*, durante a sinterização por fase líquida, ocorrem dois processos de rearranjo: um intenso rearranjo das partículas compósitas durante a fusão do Cu. Isto produz algo em torno de 95% de densidade relativa; e um segundo rearranjo ocorre devido à desaglomeração dos nanogrãos de W, que conservavam a forma das partículas compósitas, para produzir a homogeneização da microestrutura. Isto ocorre por volta de 1200°C e a microestrutura alcança 97% de densidade relativa. Os resultados mostrados nesse trabalho não confirmam a ocorrência de um segundo rearranjo na microestrutura das amostras do pó W-Cu NC.

A tabela 3 mostra o tamanho médio dos cristalitas do W e Cu, calculados a partir da DRX, de uma amostra do pó W-30%pCu NC sinterizada a 1200°C por 1h. Os resultados da tabela 3 mostram que após a sinterização, o tamanho de cristalitas do W e Cu aumenta, conforme era esperado. Entretanto, seus valores ficaram muito abaixo do tamanho de cristalitas dos pós iniciais de tungstênio e cobre (tab. 2).

Tabela 3. Tamanho de cristalitas do W e do Cu calculado sobre os picos  $[110]^W$  e  $[111]^{Cu}$ .

PÓ	$\theta_W$ (°)	$\theta_{Cu}$ (°)	$B_W$ (rad)	$B_{Cu}$ (rad)	$D_W$ (nm)	$D_{Cu}$ (nm)
W-30%pCu NC*	20,08	21,61	$0,3\pi/180$	$0,36\pi/180$	28,2	23,8

\* Amostra do pó W-30%pCu NC sinterizada a 1200°C por 1 hora em atmosfera de hidrogênio.



Figura 4. Micrografias de MEV das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 950°C por 0 min., com taxa de aquecimento de 10°C/min. e em atmosfera de H<sub>2</sub>: a) porosidade interconectada e b) região interna da partícula do pó.

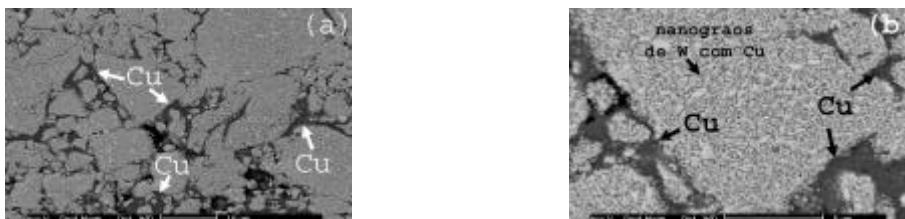


Figura 5. Micrografias de MEV das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 1050°C por 0 min., com taxa de aquecimento de 7,6°C/min. e em atmosfera de H<sub>2</sub>: a) regiões de piscinas de Cu em cor cinza e b) detalha do espalhamento do Cu e crescimento dos nanogrãos de W.

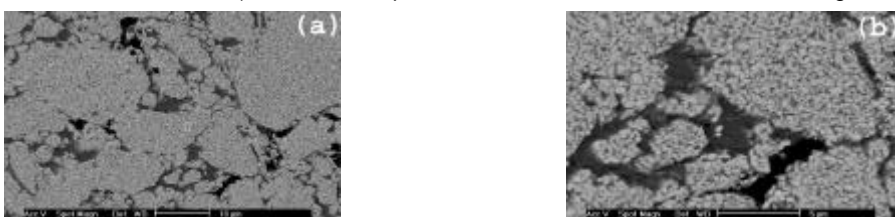


Figura 6. Micrografias de MEV das amostras do pó W-30%pCu NC sinterizadas a 1095°C por 0 min., com taxa de aquecimento de 7,6°C/min. e em atmosfera de H<sub>2</sub>: a) regiões de piscinas de Cu em cor cinza e b) detalha do espalhamento do Cu e crescimento dos nanogrãos de W.

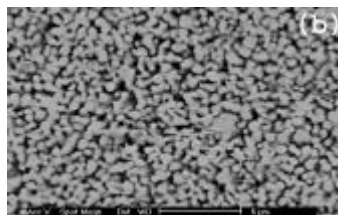
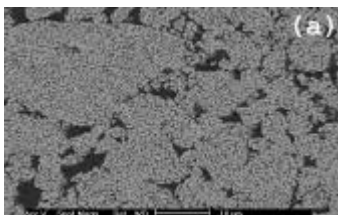


Figura 7. Micrografias de MEV das amostras do pó W-30%Cu NC sinterizadas a 1200°C por 1h, com taxa de aquecimento de 10°C/min. e em atmosfera de H<sub>2</sub>: a) microestrutura final e b) área interna a partícula do pó.

## CONCLUSÕES

A DRX mostra que a MBE realizada a seco durante 51 horas produz pós compósitos W 30%Cu com pequeno tamanho de cristalito. Após a sinterização, o tamanho de cristalito aumenta. Todavia, este tamanho fica abaixo dos valores medidos para os pós iniciais de W e Cu. Os resultados de densidade mostram que o pó de W-Cu NC produzido através de MBE pode alcançar densidade muito próxima da densidade teórica, mesmo se sinterizado em temperatura abaixo das usadas para sinterizar os pós preparados convencionalmente. A análise microestrutural através de MEV mostra que o Cu sai das partículas compósitas e preenche os vazios ao redor dessas partículas antes da fusão do Cu. O alto valor de densidade das amostras do pó W-30%Cu NC sinterizadas em fase sólida confirma a importância desse estágio de sinterização para densificação desse pó. Durante a sinterização por fase sólida além da saída do Cu das partículas, preenchendo os vazios e produzindo rearranjo das partículas, ocorre crescimento dos grãos de W no interior das partículas. Estes dois fenômenos são os responsáveis pelo aumento de densificação do pó W-Cu NC durante a sinterização por fase sólida.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Projeto: 00/00255-9) pelo suporte financeiro, a Metalpó (Brasil) em nome da Engenheira Ana Keiko pela doação do pó de cobre, ao Físico Nildemar do IPEN pelas micrografias, ao Prof. Dr. J.R. Martinelli e a MSc. R.M. Rocha do IPEN pelo uso do CILAS.

## REFERÊNCIAS

1. C. D. Desforges : Powder Metallurgy, **3** (1979) 138 - 144.
2. N.C. Kothari, Powder Metallurgy International, v. 14, n. 3 (1982) 139 – 143.
3. R.M. German, K.F. Hens, J.L. Johnson, The Inter. J. of Powder Metall., **30**, n. **2** (1994) 205 – 515.
4. J.L. Sepulveda, D.E. Jech, Proc. of Powder Metallurgy World Congress, **2** (2000) 1461 – 1464.
5. J. Lezanski, W. Rutkowski, Powder Metallurgy International, v. 19, n. **2** (1987) 29 – 31.
6. A. Upadhyaya, R.M. German, The Int. J. Powder Metallurgy, v. 34, n. **2** (1998) 43 – 55.
7. F.A. Costa, Estudo da Sinterização de Ligas de W-Cu. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal, Brasil (2000) 1 – 171.
8. U.U. Gomes, F.A. Costa, A.G.P. Silva, Proc of the 15<sup>th</sup> International Plansee Seminar, Metallwerk Plansee, Reutte, **1**, RM 24 (2001) 177 – 189.
9. I.H. Moon, J.S. Lee, Powder Metallurgy, **1** (1979) 5 – 7.
10. F. Dore, C.H. Allibert, R. Baccino, J.F. Lartigue, Proc. of the fifteen Plansee Seminar, Metallwerk Plansee, Reutte, Austria, **1**, RM 12 (2001) 81 – 93.
11. P.E. Zovas, R. M. German, K.S. Hwang, C.J. Li, J. of Metals, **35** (1983) 28 – 33.
12. J.L. Johnson, R.M. German, The Int. J. of Powder Metallurgy, v. 30, n. **1**, (1994) 91 – 102.
13. S. Lee, M.-H. Hong, J.-W. Noh, W.H. Baek, B.-S. Chun, Proc. of Powder Metall. World Congress, **1** (2000) 686 – 689.
14. J.L. Johnson, R. M. German, Advances in Powder Metall. & Particulate Mat., **3** (1992) 35 – 46.
15. J.-C. Kim, S.-S. Ryu, Y.D. Kim, I.-H. Moon, Scripta Materialia, **39**, n. **6** (1998) 669 – 676.
16. J.-C. Kim, S.-S. Ryu, H. Lee, I.-H. Moon, The Int. J. of Powder Metall., **35**, n. **4** (1999) 47 – 55.
17. F.A. Costa, F. Ambrozio Filho, A.G.P. Silva, U.U. Gomes, Anais do Congresso de Eng. Mecânica, João Pessoa, PB, agosto de 2002, em CD-ROM.
18. B.K. Kim, S.H. Hong, Proc. of the Powder Metallurgy World Congress, **1** (2000) 682 – 685.
19. D.G. Kim, W.S. Shim, J.S. Kim, Y.D. Kim, I.H. Moon, Proc. of the 15<sup>th</sup> International Plansee Seminar, Metallwerk Plansee, Reutte, **1**, RM 10 (2001) 61 – 67.
20. S.S. Ryu, Y.D. Kim, I.H. Moon, J. of Alloys and Compounds **335** (2002) 233 – 240.

21. J.-C. Kim, I-H. Moon, NanoStructured Materials, 10, n. 2 (1998) 283 – 290.  
22. B. D. Cullity, Elements of X-ray diffraction, Addison – Wesley Publishing Company, Inc, (1978) 96.  
23. J.S. Lee, T.H. Kim, Nanostruct. Mater. 6 (1996) 691.

## DENSIFICATION OF A COMPOSITE W-Cu POWDER CONSTITUTED OF NANOCRYSTALLINE TUNGSTEN

F. A. da Costa<sup>1</sup>, F. Ambrozio Filho<sup>1</sup>, N. B. de Lima<sup>1</sup>, U. U. Gomes<sup>2</sup>, C. Alves Junior<sup>2</sup>, A. G. P. da Silva<sup>3</sup>  
e D. Rodrigues<sup>4</sup>

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, São Paulo/SP, CEP: 05508-000 –  
francineac@yahoo.com

<sup>1</sup> Laboratório de Metalurgia do Pó – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

<sup>2</sup> Departamento de Física Teórica e Experimental – Universidade Federal do Rio G. do Norte

<sup>3</sup> Laboratório de Materiais Avançados – Universidade Estadual do Norte Fluminense

<sup>4</sup> Laboratório de Metalurgia do Pó e Materiais Magnéticos – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

The densification of the W-Cu alloys through sintering is difficult due to both the insolubility of the elements and the low wettability of liquid copper on tungsten. In spite of this composite powders produced by high energy milling are able to bring about very homogeneous structures of high relative density. This work discusses the densification process of a W30%wCu powder prepared through high energy milling during 51 hours in a planetary mill. This powder is constituted of W-Cu composite particles with nanocrystalline tungsten. Compacted samples were sintered below and above the melting point of copper. The microstructures of the sintered samples were observed by SEM, the crystallite size of tungsten and copper were measured by XRD, the presence of contaminants is checked by EDS analysis and the densification of the structure is given by density measurements.

Key Words: Sintering, high energy milling, nanostructured composite W-Cu powder.