

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SINTERIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DO COMPÓSITO WC-6%CO¹

Wilson Corrêa Rodrigues²
Vinícius Martins²
Lírio Schaeffer⁴

Resumo

Nesse trabalho são avaliadas as propriedades físicas e mecânicas do compósito WC-6%Co fazendo uma análise em diferentes patamares de estabilidade térmica. Utilizou-se curvas otimizadas para 1.400°C, 1.430°C e 1.450°C. Realizou-se para cada curva de estabilidade térmica um comparativo entre suas propriedades. Nos ensaios realizados, a densidade, a variação dimensional e a dureza são fortemente influenciadas pela temperatura de sinterização. Na caracterização, amostras sinterizadas a 1450°C mostraram os melhores resultados.

Palavras-chave: Metal duro; Metalurgia do pó; Sinterização; WC-6%Co.

INFLUENCE OF SINTERING TEMPERATURE IN THE PROPERTIES WC-6%CO COMPOSITE

Abstract

The aim of this work is to investigate the mechanism of densification of WC-6%Co at different temperatures. It was used curves optimized for 1400°C, 1430°C and 1450°C. It was used for each curve of thermal stability a comparative between its properties. In the tests, the density, the dimensional variation and hardness are influenced by the temperature of sintering. The characterizing the samples sintered in 1450°C showed the best results.

Key words: Hard metal; Powder metallurgy; Sintering; WC-6%Co

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

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS. Av: Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. wilcor_br@yahoo.com.br; viniciushiper@yahoo.com.br

³ Prof. Dr. Ing. - Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Depto. de Metalurgia, PPGEM, UFRGS. Av: Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. schaeffer@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

A expressão “metal duro” indica um produto constituído basicamente por dois constituintes fundamentais: Os carbonetos e os aglomerantes.

Um carboneto de alta dureza e elevada resistência ao desgaste, sendo o principal, o carboneto de tungstênio, juntam-se frequentemente aos carbonetos de titânio, tântalo e nióbio. Um metal aglomerante, que pode ser o ferro, o níquel ou o cobalto. O metal mais usado como fase ligante é o cobalto, pois ao aglomerar-se as partículas duras dos carbonetos conferem ao produto final a tenacidade desejada.⁽¹⁾

O carboneto é composto de WC (carboneto de tungstênio) e Co (cobalto) formando o compósito denominado metal duro, devido a sua elevada dureza e aparência metálica.

Em alguns casos, são adicionadas pequenas quantidades de outros ligantes refratários para inibir o crescimento de grão do WC durante a sinterização. As características desse material são a alta dureza, resistência à compressão e ao desgaste, além de boa tenacidade e estabilidade térmica.⁽²⁾

O advento do metal duro foi no final da década de 20, na Alemanha, quando Karl Schröter conseguiu produzir em laboratório WC em pó pela primeira vez, provocando o segundo grande impulso na área dos materiais de ferramenta de corte.

A Krupp Organization foi a empresa pioneira no desenvolvimento do metal duro denominando de Widia (*Wie Diamont*, em alemão, como o diamante), em função da sua elevada dureza e resistência ao desgaste, uma referência à semelhança entre as propriedades dos dois materiais.^(3,4)

Nos anos 40 quase a metade desse carboneto sinterizado era destinada à fabricação de ferramenta para mineração. Nessa época, o metal duro foi taxado como um material de alto custo, porém não foi descartado devido a excelente resistência ao desgaste. Entretanto, os custos de mão de obra aumentaram e tornou-se mais barato substituir uma ferramenta com metal duro soldada, por uma em que a pastilha insertada seria fixada com precisão no seu suporte, através de um parafuso. A vida útil dessa ferramenta poderia ser estendida adicionando ao inserto mais bordas ou cantos de corte. As fixações intercambiáveis eram formas simples, planas em ambos os lados e com provisão para fixação, acrescentadas de saídas de cavacos, e o melhoramento da geometria de quebra cavaco.⁽⁵⁾

Na mineração e na indústria de petróleo, o metal duro já havia substituído o aço como material de perfuração, que através de repetidas batidas quebram rochas e com isso apresentavam um melhor desempenho em relação à ação cortante.

Composto basicamente de carboneto de tungstênio e cobalto, as ferramentas de metal duro são fabricadas pela metalurgia do pó, que revolucionaram a indústria e a fabricação de discos e anéis para cilindros de laminação, com capacidade de laminar até 10 vezes mais entre re-usinagens que os equivalentes em ferro fundido, reduzindo assim as trocas de cilindros que interrompem a produção.

A técnica de produção de metal duro pode ser descrita de uma forma sucinta: o pó é compactado com pressões que variam de 80 MPa a 200 MPa. Em casos especiais, podem ser utilizadas pressões menores ou muito maiores como na compactação isostática a quente de peças de grandes dimensões, que pode chegar a 300 Mpa. A mistura é compactada, obtendo-se peças no formato desejado ou briquetes com resistência suficiente para serem manipuladas.⁽⁶⁾

Do processo de compactação, a peça sai com uma pré-forma que já poderá ser a final, com resistência suficiente para ser manuseada, dado que a grande parte

do material cerâmico e a aglutinação das partículas devem-se a presença de parafina ou etileno glicol. Também as dimensões da peça não são as finais, pois 40 a 50% do volume compactado é porosidade que deverá desaparecer na sinterização, causando uma contração linear de 14% a 21%. O que depende basicamente, da quantidade do ligante e dos parâmetros de sinterização.

A sinterização do metal duro com WC-Co ocorre em temperaturas entre 1.380°C e 1.600°C, dependendo do percentual de ligante, que pode variar de 6% a 25%. A quantidade de tungstênio dissolvido no composto Co-W-C pode variar de 7% a 20% em peso e sua solubilidade é dependente do teor de carbono e influenciável pela velocidade de resfriamento e pureza. Quanto menor a presença de carbono na liga, maior será a quantidade de tungstênio dissolvido, o que contribui para o aumento da resistência a ruptura por tração (400 MPa a 1.300 MPa), dureza (320 Vickers a 500 Vickers) e alongamento (4% a 10 %). A grande contração do metal duro durante a sinterização é devido a excelente molhabilidade do WC pela fase líquida, por volta de 1.300°C.^(7,8)

No controle de qualidade do metal duro, costuma-se determinar os valores de densidade, avaliar a porosidade e examinar a microestrutura.

Este trabalho apresenta uma avaliação das propriedades físicas e mecânicas utilizando-se da metalurgia do pó convencional com patamares de estabilidade térmica em curvas com altas taxas de aquecimento. Os patamares de estabilidade térmica utilizados foram de 1.400°C, 1.430°C e 1.450°C, com uma taxa média superior a 10 °C/min, durante 60 min.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento desse estudo, partiu-se do pó de WC-6Co, 99%, de composição dada na Tabela 1, fornecido pela empresa ALFA AESAR, -325 Mesh, que serviu como matéria-prima. A esse composto foi adicionado estearato de zinco (1,5% em peso) como lubrificante, sendo misturados os componentes durante o tempo de 15 min. em um misturador tipo “Y” a 24rpm. As Figuras 1 e 2 mostram o pó de WC-6Co.

Tabela 1: Composição química do pó do composto WC-6%Co

Elemento	WC	Co
% em peso	94	6

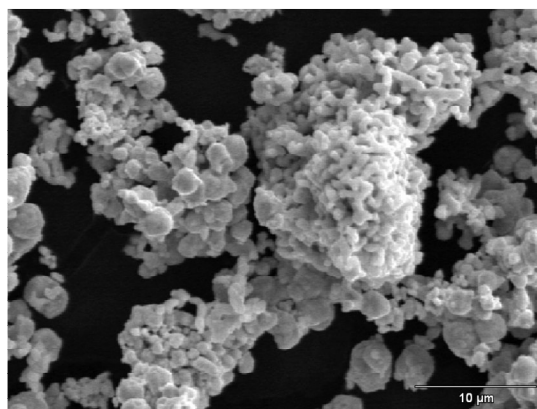


Figura 1: Partículas de pó de WC-6Co (3.000x).

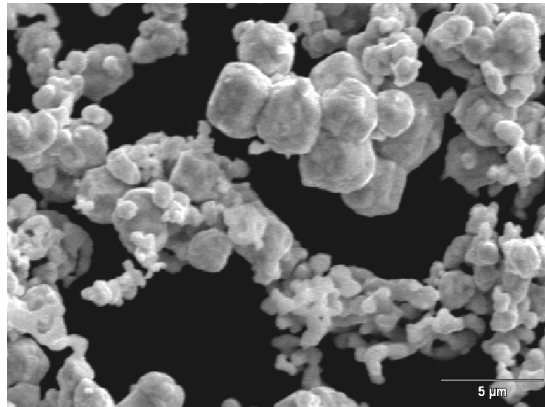


Figura 2: Partículas de pó de WC-6Co (5.000x).

As amostras foram compactadas com tamanho, geometria e composição do material requerido, possuindo suficiente integridade para serem manuseadas e movimentadas. A pressão de compactação foi obtida através da curva de compressibilidade da liga, conforme a Figura 3, traçada com base na norma ASTM B331.

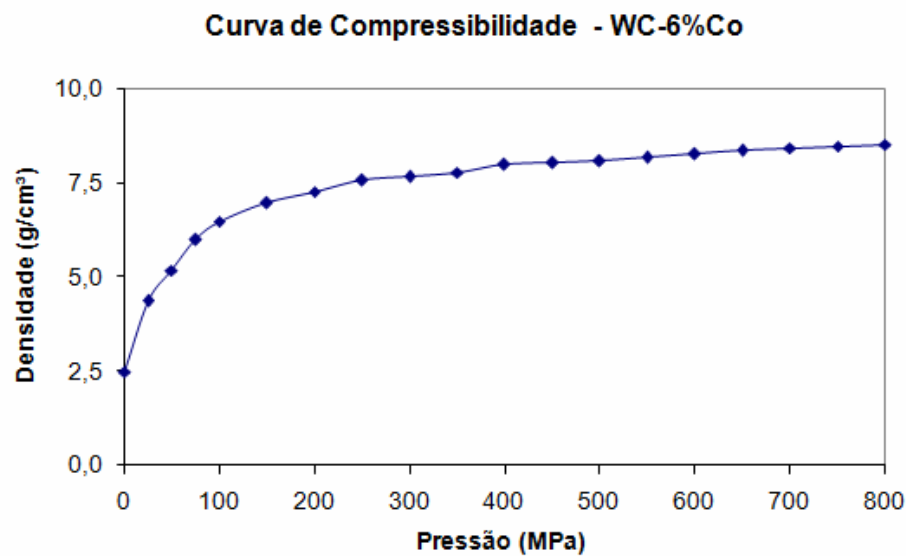


Figura 3 – Curva de compressibilidade do material WC-6%Co.

A sinterização foi realizada numa atmosfera de 100% de hidrogênio em volume, em temperaturas de 1.400°C (Ciclo A), 1.430°C (Ciclo B) e 1.450°C (Ciclo C), respectivamente.

Cada ciclo de sinterização constituiu de:

- a) aquecimento com taxa média de 11°C/min até a temperatura de sinterização, 1.400°C, 1.430°C e 1.450°C, respectivamente;
- b) na temperatura de sinterização, constante durante 60 min;
- c) resfriamento com taxa média de 9,5°C /min.

Cada ciclo de sinterização está mostrado na Figura 4.

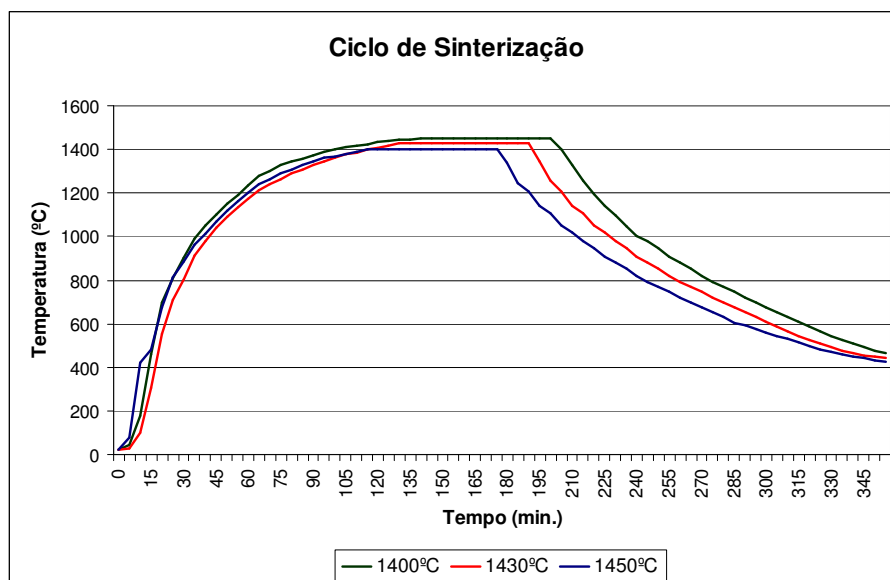


Figura 4 – Ciclo de sinterização utilizado – 1.400°C (Ciclo A), 1.430°C (Ciclo B) e 1.450°C (Ciclo C).

3 RESULTADOS

Nessa etapa do estudo, e com base nos objetivos propostos são apresentados os seguintes resultados: densidade aparente, densidade à verde, densidade do sinterizado, contração volumétrica, microdureza e micro-estrutura do compósito WC-6Co para cada ciclo de sinterização.

Define-se a densidade aparente de um pó como a massa (g) de uma unidade de volume de pó solto ou a relação da massa para o volume, em g/cm^3 . A importância do conhecimento dessa característica reside no fato de que ela determina o verdadeiro volume ocupado por uma massa solta de pó e em consequência, determina a profundidade da cavidade da matriz.

Os valores da densidade aparente foram obtidos utilizando um volume de cavidade de $9,64 \text{ cm}^3$, em um formado de anel (toróide) preenchendo-a por completa com a mistura de pó solto. Na Tabela 2 são mostrados os resultados da densidade aparente do compósito considerando como cavidade uma matriz de formato toroidal.

Tabela 2: Valores de densidade aparente para o pó de WC-6%Co

Amostra	Massa (g)	Volume da cavidade (cm^3)	Densidade Aparente (g/cm^3)
1	23,98	9,64	2,48
2	23,72	9,64	2,45
3	23,84	9,64	2,47
4	23,80	9,64	2,46
5	23,86	9,64	2,47
6	23,70	9,64	2,45

Definiu-se a pressão de compactação, obtida através da curva de compressibilidade da liga, traçada com base na norma ASTM B331. Definimos aplicando uma pressão de compactação, nos quais resultaram densidades à verde.

Na Tabela 3, são mostrados os valores obtidos de densidade à verde para uma pressão de compactação de 200 MPa. Nessa etapa atingimos peças com densidade à verde utilizada no processo de fabricação industrial.

Tabela 3: Valores de densidade à verde para o compósito WC-6%Co

Amostra	Pressão de compactação (MPa)	Volume da peça à verde (cm ³)	Massa (g)	Densidade à verde (g/cm ³)
1	200	2,80	20,05	7,16
2	200	2,78	20,00	7,19
3	200	2,82	20,45	7,25
4	200	2,82	20,22	7,17
5	200	2,74	20,05	7,30
6	200	2,76	20,16	7,28
7	200	2,76	20,08	7,25
8	200	2,79	20,02	7,16
9	200	2,79	20,07	7,19

Após a sinterização, mediram-se as densidades das amostras, utilizando-se o princípio de Arquimedes, conforme a norma MPIF-95. A Figura 5, mostra uma das amostras de WC-6%Co somente compactada (1) (peça à verde) e a outra (2), uma peça sinterizada à 1.450°C.

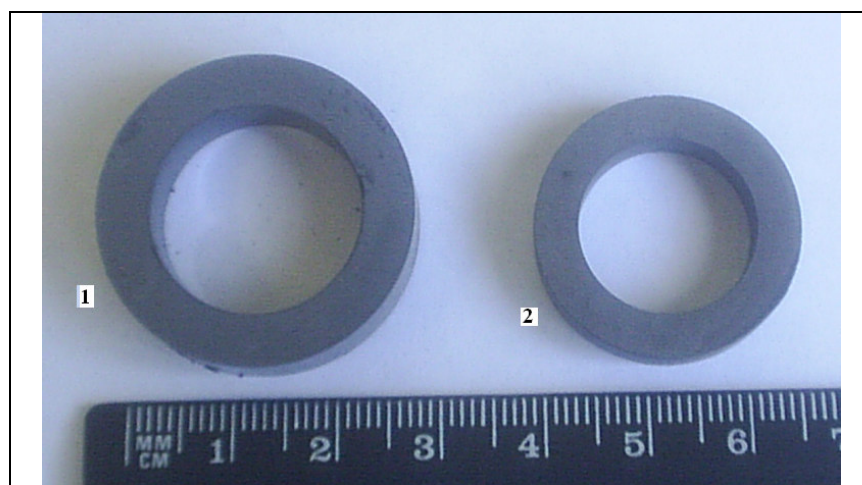


Figura 5: (1) amostra à verde - (2) amostra de WC-6%Co sinterizada à 1.450°C.

A Figura 6 mostra a densidade relativa do compósito WC-6%Co em função da temperatura de sinterização das amostras sinterizadas. A Tabela 4 apresenta os resultados de microdureza, em função da temperatura de sinterização a 1.400°C, 1.430°C e 1.450°C, para o material WC-6%Co.

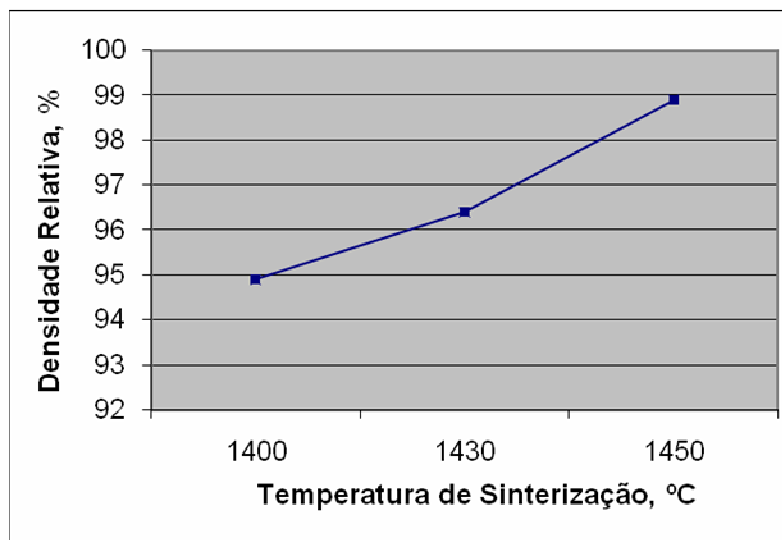


Figura 6 – Densidade relativa em %, em função da temperatura de sinterização, °C.

Tabela 4 – Microdureza e densidade em g/cm³ das amostras da WC-6%Co

Temperatura de Sinterização, (°C)	Densidade Sinterizado, (g/cm ³)	Microdureza, (HV, 500g)
1.400	14,10	1437 ± 20
1.430	14,32	1505 ± 20
1.450	14,70	1665 ± 20

A Tabela 5 exibe uma relação entre temperatura de sinterização, densidade e contração volumétrica para amostras de WC-6%Co.

Tabela 5 – Contração volumétrica, temperatura de sinterização e densidade em g/cm³ das amostras da WC-6%Co

Temperatura de Sinterização, (°C)	Densidade do Sinterizado, (g/cm ³)	Contração volumétrica, (%)
1.400	14,10	43,2
1.430	14,32	45,2
1.450	14,70	46,4

Nas Figuras 7, 8 e 9 podem-se ver os resultados metalográficos obtidos após cada ciclo de sinterização 1.400°C, 1.430°C e 1.450°C, obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca JEOL de modelo 5800.

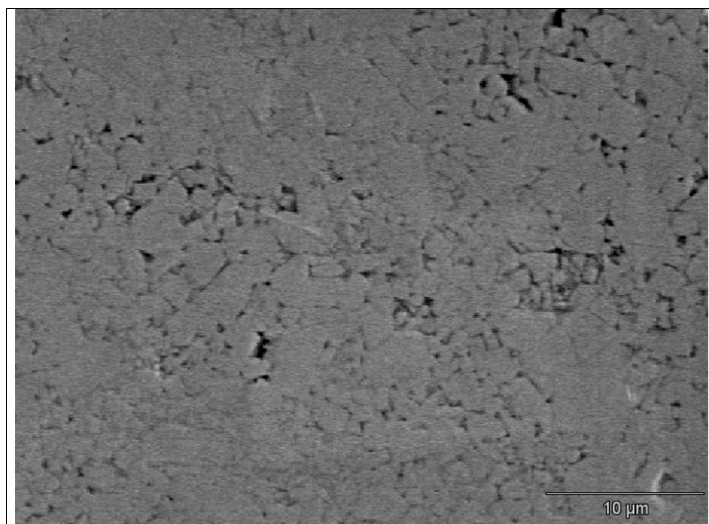


Figura 7 – Amostra sinterizada a 1.400°C.

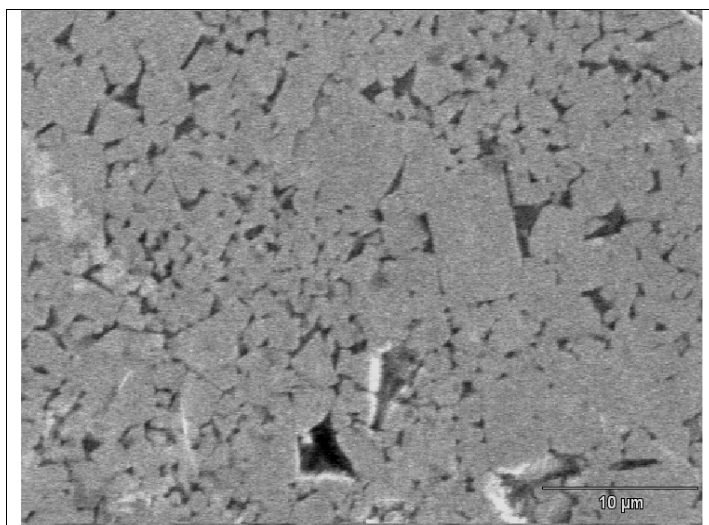


Figura 8 – Amostra sinterizada a 1.430°C.

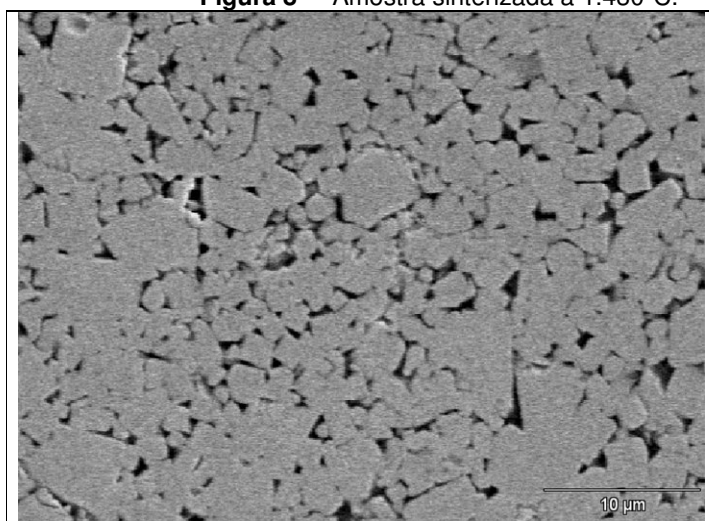


Figura 9 – Amostra sinterizada a 1.450°C.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Optou-se por utilizar a mistura de WC-6%Co e estearato de zinco na proporção de 1,5% em peso, processada durante o tempo de 15 minutos, produzindo-se uma mistura homogênea.

A Figura 1 apresenta micrografia do pó utilizado na preparação das amostras. É possível observar uma boa homogeneidade nas partículas de WC-6%Co.

Verificou-se pela curva de compressibilidade do material, que a partir de 400 MPa de pressão a densidade à verde tornou-se constante. Optou-se por utilizar 200 MPa de pressão e, por conseguinte, uma densidade à verde em torno de $7,21 \text{ g/cm}^3$.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam amostras sinterizadas a 1.400°C , 1.430°C , e a 1.450°C , respectivamente. É possível observar a redução dos lagos de cobalto. A redução dos poros resultantes da compactação é observada no aumento da densidade do sinterizado. As densidades são apresentadas nas Tabelas 4 e 5. Também é visível nas Figuras 7, 8 e 9 a ligação entre as partículas e o contorno da partícula original, linhas muito finas circundando partes claras, observadas nas figuras, pois mostram uma matriz de carboneto de tungstênio com o aglomerado de cobalto.

O efeito da densificação tem influência sobre o controle dimensional das peças. À medida que o material densifica, ocorre a contração, com redução das dimensões da amostra, apresentado na Tabela 5. Os resultados obtidos em relação à sinterização a 1.450°C ficaram próximos da densidade teórica da liga, que é de $14,85 \text{ g/cm}^3$.

Pela Tabela 4, observa-se um aumento significativo da microdureza, em função da temperatura de sinterização.

5 CONCLUSÃO

A mistura de WC-6%Co e lubrificante sólido estearato de zinco mostrou-se eficiente na proporção de 1,5% em peso. A compactação a 200MPa revelou uma densidade à verde semelhante à obtida na literatura, $7,00 \text{ g/cm}^3$.

Após a sinterização, as características físicas como densidade relativa (99% da densidade teórica), contração volumétrica (46,4%) e microdureza [1665 Hv(500)], apresentaram valores satisfatórios aos da literatura.

A análise metalográfica mostrou que o nível de porosidade diminui com o aumento da temperatura de sinterização.

A micrografia da liga sinterizada apresentou uma matriz de WC com cobalto bem distribuído.

Observa-se, pelos valores obtidos de microdureza, densidade relativa e análise metalográfica, que se podem definir o processo para a fabricação de peças em metal duro, desde que, utilize uma correta especificação do processo, materiais, parâmetros de processo e equipamentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LdTM (Laboratório de Transformação Mecânica) e a Escola de Engenharia da UFRGS pelo o uso dos laboratórios e da infra-estrutura da Universidade.

Os autores agradecem também ao CNPq, CAPES, FINEP e a empresa IMER Ind. Com. Ltda, Porto Alegre- RS, pelo apoio financeiro e investimento na área de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 CHIAVERINI, V., Metalurgia do pó: técnica e produtos. ABM Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 4ª edição. São Paulo 2001.
- 2 DA SILVA, A.G.P., The Role of Bender Phase inThe WC-Co Sintering. Materials Research, vol.4, N°2., 59 – 62, 2001.
- 3 RODRIGUES, D; MIRANDA, F, Curso de Metalurgia do Pó – metal duro - Nobre Consultoria – SP
- 4 MARCONDES, F.C., A História do Metal Duro. Sandvick Coromant. Unida Artes Gráficas Ltda. 1ª Ed. São Paulo 1990.
- 5 RODRIGUES, M.F., Sinterização Termobárica de Metal Duro WC 10% Co. Dissertação de Mestrado Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacases, 2006.
- 6 RIBAS, H I. Resistência ao Desgaste Abrasivo de Metais Duros Sem Cobalto. Dissertação de mestrado. Engenharia Mecânica UFSC, 1991.
- 7 METALS HANDBOOK, ASM Metals Hanbook v.7 Powder Metals Technologies and Applications 2004.
- 8 METALS HANDBOOK, ASM Metals Handbook v.9 - Metallography and Microstructures 2004.