

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA A BASE DE W EMPREGADOS EM BROCAS DE PERFURAÇÃO PARA SONDAGEM GEOLÓGICA EM QUARTZITO¹

*Carlos Roberto Ferreira²
Fernando Gabriel da Silva Araújo³
Ronaldo Soares Eisele⁴
Marciano Quites Macedo⁵*

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo do desempenho de compósitos de matriz metálica à base de W, empregados na fabricação brocas/coroas de perfuração para sondagem geológica. Foram selecionadas três composições com as quais, por técnicas de sinterização por fase líquida, produziram-se lotes contendo 20 coroas cada. Os principais efeitos decorrentes da adição de tungstênio pulverizado e outras ligas foram avaliados, em coroas sem diamantes, através de medidas de Dureza Vickers e em litologia predominante de quartzito, foram realizadas perfurações para avaliar o desempenho das ferramentas. Os resultados indicam que o uso de coroas de matriz metálica constituída de partículas de tungstênio (W) com distribuição bimodal de 6µm e 15µm permite aumentar em até 19% a produtividade nas operações de perfuração em quartzito para sondagem geológica.

Palavras-chave: Coroas de perfuração; Quartzito; Sondagem; Sinterizados.

PERFORMANCE OF COMPOSITES OF METALLIC MATRIX OF W FOR ROCK DRILLING'S BITS IN HARD QUARTZ.

Abstract

This work aims to analyze the performance of sintered tungsten alloys used on impregnated diamond bits for geological drilling. Three different matrix compositions were selected produced by liquid phase sintering in batches containing 20 bits each. The main effects of tungsten powder and other alloy additions were evaluated for measure Hardness Vickers with 10 kgf load in sample without diamond and drilling tests were performed in quartzite, to check the performance of the tools. The results indicate that the use of diamond bits with composites of metallic matrix with a bimodal distribution of tungsten powder (6µm and 15µm) leads to an increase of up to 19% in the performances of geological drillings.

Key words: Impregnated diamond bits; Quartz; Drilling; Sintered materials.

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

² *Engº Metalurgista, Msc.. Eng. de Materiais, REDEMAT/UFOP - E-mail: carlosferreira@geosol.com.br*

³ *Dr., Prof. Associado, Dep. Física, REDEMAT/UFOP – E-mail: fgabriel@iceb.ufop.br.*

⁴ *Engº Geólogo, Geosol Geologia e Sondagem Ltda – E-mail: logística@geosol.com.br*

⁵ *Físico, Msc.Eng. de Materiais – E-mail: marcianomacedo@geosol.com.br*

1 INTRODUÇÃO

Na prospecção mineral, uma importante etapa é a sondagem mineral testemunhada. Esse procedimento destina-se a extrair amostras que possibilitarão identificar e quantificar a substância mineral útil presente no trecho de subsolo atravessado.⁽¹⁻³⁾ Para a realização desta etapa, empregam-se, normalmente, sondas rotativas que possuem mecanismos de avanço e a essas são acoplados inúmeros acessórios como: conjunto moto-bomba, tripé, hastes e coroas diamantadas ou outros tipos de brocas de perfuração. Essas coroas são fabricadas através do processo de sinterização por infiltração, constituindo-se basicamente de uma matriz metálica com dispersão de pequenos diamantes de forma aleatória. As matrizes metálicas, formadas por um esqueleto de pós de W unidos por uma liga metálica infiltrante têm por objetivo dar sustentação aos diamantes e ao mesmo tempo ser desgastada, a fim de expor os mesmos durante a utilização da ferramenta. Contudo, este desgaste não pode ser muito elevado, pois os diamantes seriam arrancados facilmente. A constituição em porcentagem do peso aproximada das coroas é 38% de pós metálicos, 60% de liga infiltrante e 2% de diamantes.^(2,4) Uma composição típica consiste de 320 g de infiltrante, 210 de pós e 9 g de diamantes.

O processo de sinterização por fase líquida em associação com infiltração metálica é usado para a produção das coroas diamantadas, onde uma mistura de pós metálicos e diamantes que ocupa o espaço entre o molde e um segmento tubular em aço é então infiltrada com uma liga metálica de baixo ponto de fusão, em geral de cobre, num forno à temperatura na faixa de 900°C a 1.200°C, promovendo o fechamento total ou parcial dos poros da peça e assim conformando o material que constitui o corpo da coroa.

O método mais usado para infiltração consiste na colocação de pastilhas do metal a ser infiltrado em contato com o “esqueleto” compactado, seguido do aquecimento acima do ponto de fusão do infiltrante e abaixo do ponto de fusão do “esqueleto”.

Uma coroa para sondagem geológica é conformada/consolidada durante o período de infiltração, no qual o metal fundido entra em contato com os diamantes envolvidos pelo pó metálico compactado – o esqueleto - e, por tensão superficial, espalha-se sobre todas as faces das partículas e forma um composto do infiltrante solidificado embebendo partículas de metais duros e diamantes industriais. Antes que ocorra a penetração do metal líquido em direção ao centro do “esqueleto”, ocorrerá o deslocamento dos gases, facilitado pelos diamantes, de granulometria maior que dos pós metálicos, existentes no “esqueleto”.⁽⁵⁻⁸⁾

Fornos elétricos, tipo mufla, com aquecimento resistivo e fornos de indução eletromagnética permitem o processamento de coroas para sondagem geológica. Os fornos tipo mufla permitem o processamento de uma maior quantidade de coroas por batelada, porém, o tempo de aquecimento e permanência na temperatura desejada é relativamente longo, usualmente entre 50 minutos e 70 minutos, enquanto que nos fornos de indução eletromagnética, apesar do processamento unitário, pode-se executar o processo em intervalos de tempo da ordem de 4 minutos a 6 minutos.

Para coroas de perfuração e outras ferramentas diamantadas submetidas ao processo de sinterização e infiltração metálica, a adição de cobalto, segundo trabalhos publicados, promove endurecimento por solução sólida nas ligas que contem W,

melhora a tenacidade das ferramentas e aumenta a capacidade de retenção dos diamantes pela matriz metálica. Isto se dá quando o processamento é realizado em temperaturas na faixa de 950°C durante prensagem a quente, devido à tensão residual gerada na interface entre as partículas de cobalto e diamante, em função dos diferentes coeficientes de dilatação térmica.⁽⁹⁻¹¹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu no estudo das propriedades físicas, seleção e uso de pós de tungstênio com formas irregulares (Figura 1) e de uma mistura de metais pulverizados, para a produção de diferentes composições de coroas diamantadas. Foram empregados pós metálicos com os tamanhos médios e composições apresentados na Tabela 1. Tais misturas foram acrescidas de diamantes sintéticos "MBS 760" (revestidos de titânio e com granulometria entre 0,420 mm e 0,297 mm, que após homogeneização e moldagem foram submetidos a uma etapa de sinterização e infiltração metálica por fase líquida de uma liga Cu-43Zn-1Sn (% em peso) em um forno tipo mufla, na temperatura de aproximadamente 1.050°C, para conformação das coroas com perfil de face sulcado. Foram ainda produzidas réplicas das coroas com as matrizes metálicas, porém sem diamantes, para execução de testes de dureza segundo a escala Vickers.

Tabela 1. Identificação, composição e tamanho médio dos pós metálicos utilizados na confecção de coroas diamantadas

Broca	Composição das Matrizes Metálicas (% em peso) e Tamanho Médio
S3	90% W (6µm) + 10% 3Cu-25Co-72Fe (3,5µm).
S7	100%W (6µm).
S8	35% W (6µm) + 65%W (15,5µm).

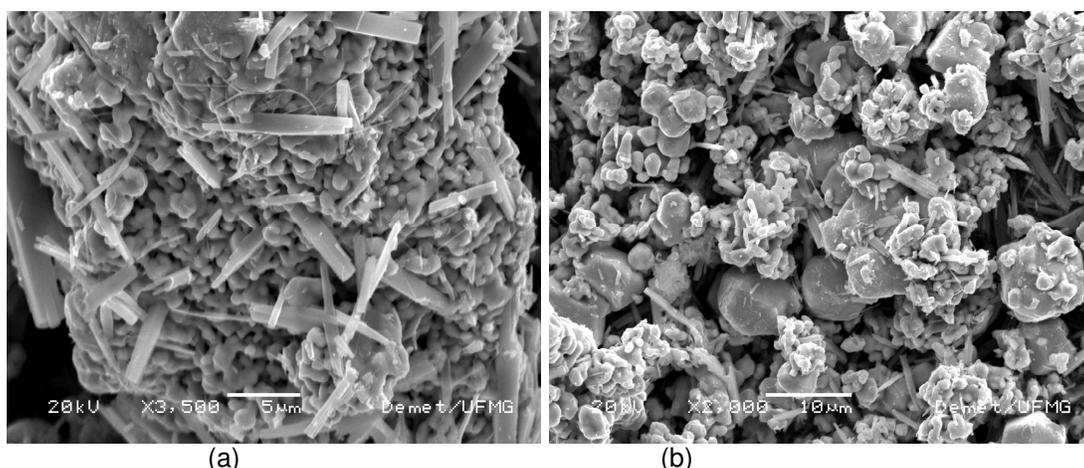


Figura 1. Micrografias obtidas por MEV de pós de tungstênio, (a) W (6µm) e (b) W (15,5µm), utilizados na fabricação de coroas diamantadas de perfuração geológica.

Foram produzidos três lotes de 20 coroas de perfuração para sondagem geológica. Após retífica dimensional, testes de campo foram executados na mina de Canavieiras, Jacobina – BA, onde as coroas foram submetidas às operações de perfuração para sondagem geológica, em litologias compostas predominantemente por

quartzito. Foram avaliadas as profundidades médias em metros perfurados por cada coroa e sua velocidade de corte. Foi avaliada a aplicabilidade, bem como a relação custo/benefício obtida com cada tipo de coroa.

Para refrigeração das coroas e remoção das partículas geradas, todas as perfurações foram executadas com auxílio de uma solução de água e polímero em circulação, injetada pelas hastes através de uma bomba de pistão, sendo a pressão função da profundidade do furo.

A Figura 2 mostra detalhes das operações de perfuração para sondagem geológica durante testes de campo.



Figura 2. (a) Sonda rotativa para perfuração em sondagem geológica. (b) Início de operação de perfuração com uma coroa produzida no estudo. (c) Vista geral de uma praça para sondagem com equipamentos e ferramentas.

Os ensaios de dureza foram realizados em durômetro Vickers (marca WPM) com carga de 10 kgf, por 30 s, em vários pontos da superfície, conforme representação esquemática ilustrada na Figura 3, da seção transversal das amostras que representasse a dureza da coroa.

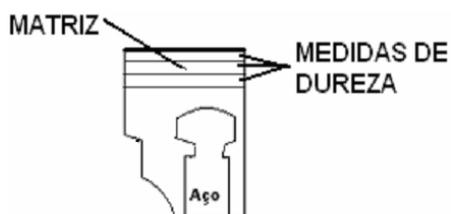


Figura 3. Representação esquemática da seção transversal de um corpo de prova usada para medir os valores médios de dureza das matrizes metálicas obtidas no estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mostrado na Figura 4, a matriz metálica identificada como S7, fabricada a partir de pós de W de tamanho médio original de $6\mu\text{m}$, apresentou o maior valor de dureza, na ordem de 350HV_{10} . Além desta, a matriz (S8) produzida com pós de W de tamanhos médios distintos ($6\mu\text{m}$ e $15\mu\text{m}$) apresentou dureza da ordem de 315HV_{10} . Já a matriz (S3) produzida com pós de W de tamanho médio de $6,0\mu\text{m}$ misturado a outro de composição $3\text{Cu}-25\text{Co}-72\text{Fe}$ de tamanho médio $3,5\mu\text{m}$ atingiu valores de dureza da ordem de 340HV_{10} . Os resultados de dureza obtidos estão devem estar

relacionados com o tamanho da partícula de W e com o pó de liga adicionado. Em geral, quanto menor o tamanho de partícula maior é a dureza. Por sua vez, a adição da referida liga de cobre reduz a dureza.

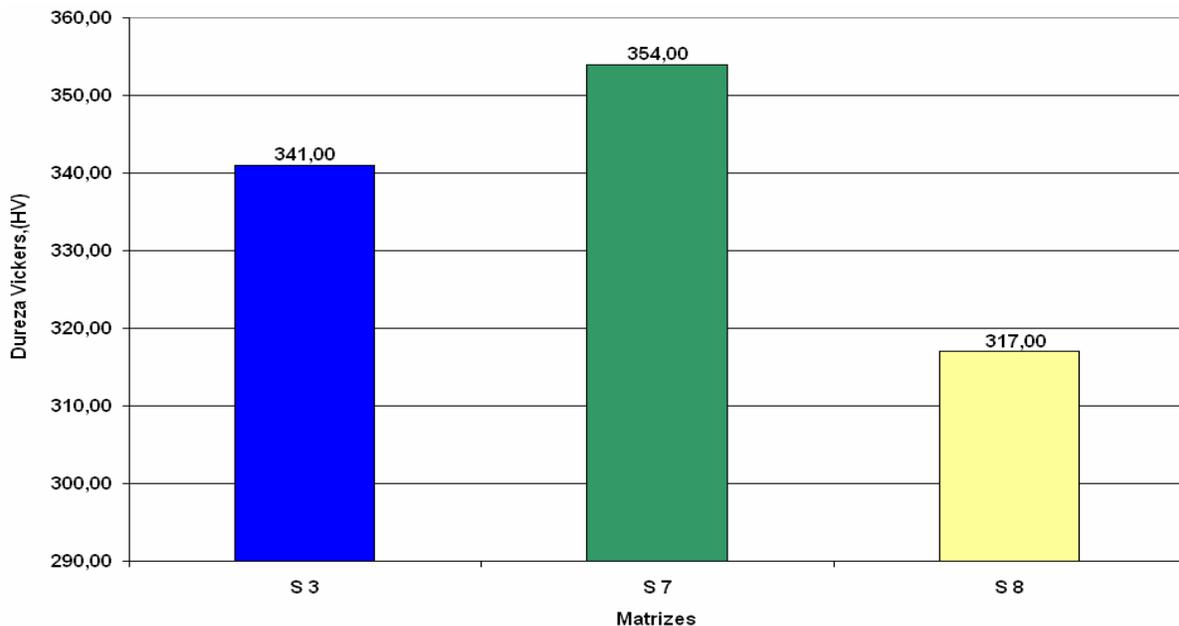


Figura 4. Valores médios de dureza Vickers - HV medidos na seção transversal dos corpos de prova das matrizes metálicas elaboradas para produção de coroas de perfuração aplicadas na sondagem geológica de quartzito.

Em solo constituído predominantemente por quartzito, foram realizados, como testes de campo, furos de inclinação com a vertical variando entre 78° de 89°. Sobre as coroas foram aplicadas forças da ordem de 5600N e velocidades oscilando entre 800 e 1.100 rpm, objetivando desenvolver velocidade periférica média de 10 cm/min.⁽⁴⁾ Para avaliar o desempenho e a durabilidade das brocas de matrizes metálicas desenvolvidas nesse estudo, foram perfurados 2341 metros e o desempenho dessas coroas durante perfuração foi avaliado pela medida da diminuição da altura de impregnação das matrizes, devido ao desgaste abrasivo entre metal e rocha perfurada.

Os resultados referentes à profundidade média em metros perfurados bem como a velocidade média atingida durante as perfurações estão apresentados nas Figuras 5 e 6 respectivamente.

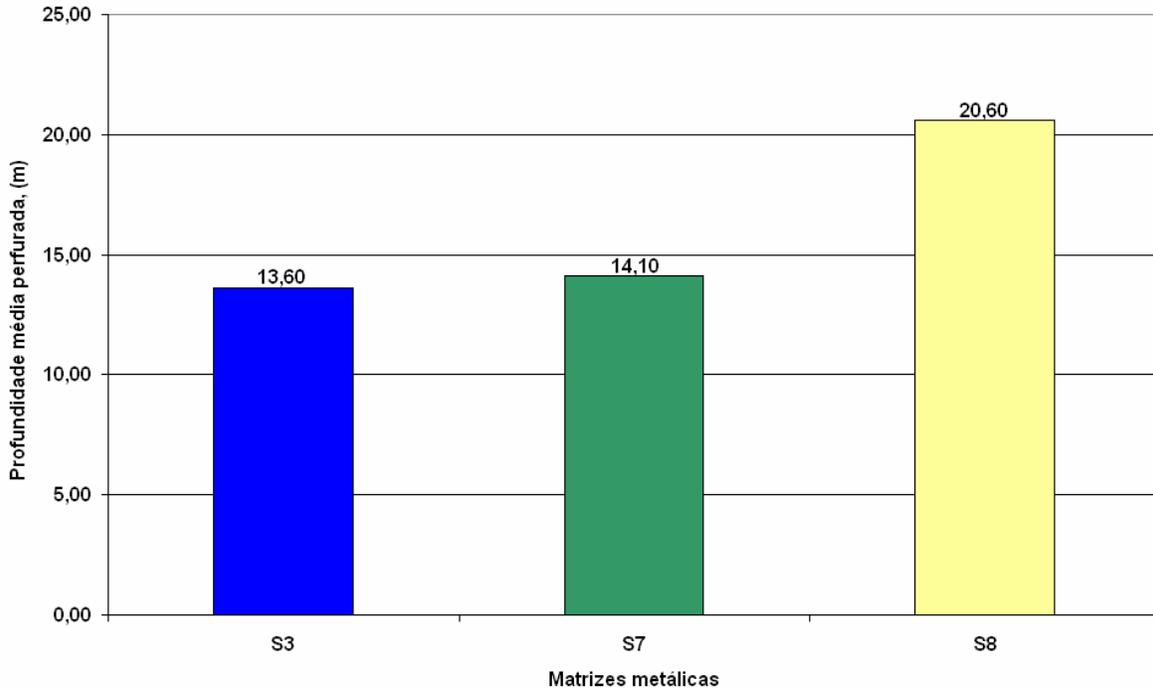


Figura 5. Profundidade média perfurada por coroa no quartzito, para as coroas S3, S7 e S8, de matriz metálica à base de W.

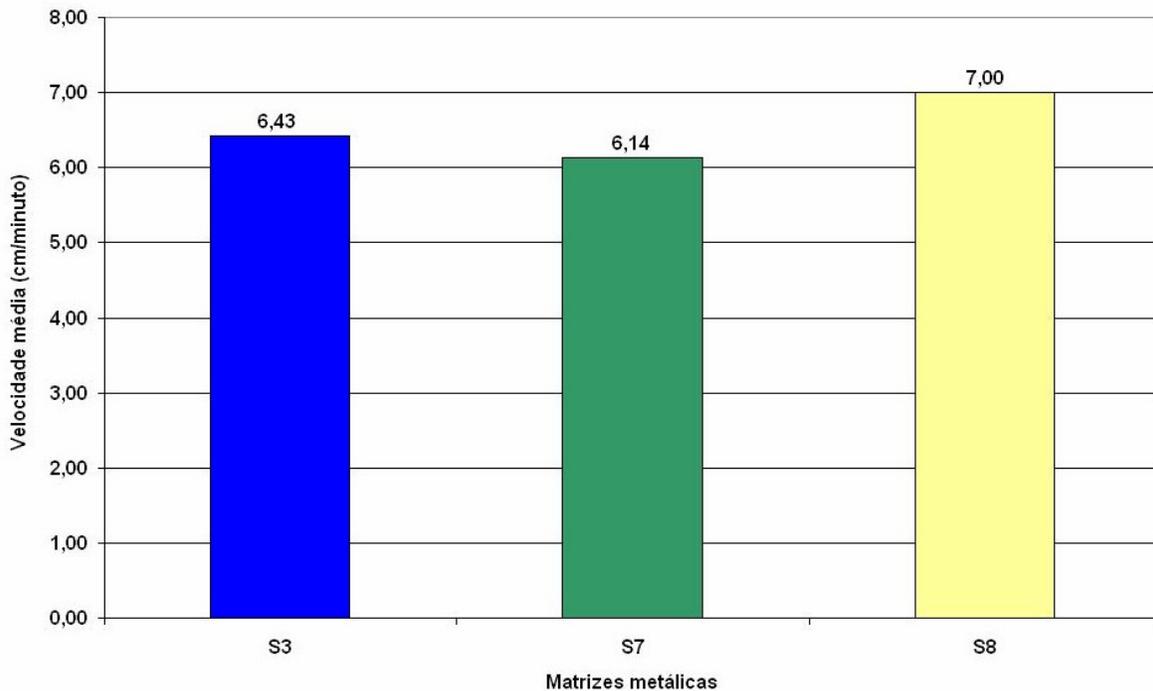


Figura 6. Velocidade média desenvolvida durante as perfurações executadas em quartzito, para as coroas S3, S7 e S8, de matriz metálica a base de W.

A análise das Figuras 5 e 6 mostra que para perfuração em quartzito, as coroas produzidas com as matrizes S3 ($W + 3Cu-25Co-72Fe$) e S7 (W tamanho médio original de $6 \mu m$) apresentaram desempenho operacional da ordem de 14 metros perfurados por coroa. As coroas S8 fabricadas com pós de W (tamanho médio $6 \mu m$ e $15,5 \mu m$)

apresentaram o melhor resultado médio, cerca de 20 metros perfurados por coroa. A durabilidade das coroas S8 foi superior em 25% se comparado às coroas S3 e S7 respectivamente.

Quanto à velocidade média perfurada (“avanço”), aplicando entre 800 rpm e 1.100 rpm, se comparado ao lote de coroas S7, o lote de coroas S3 apresentou resultado superior, porém, esse resultado foi inferior ao apresentado pelo lote de coroas S8, que apresentou aumento de desempenho de ordem de 8,68% em relação ao lote de coroas S3 e da ordem de 14% em relação ao lote de coroas S7.

A Figura 7 mostra a fotografia de uma coroa de perfuração para sondagem geológica fabricada com duas faixas granulométricas distintas de pós de W (tamanho médio 6 μm e 15 μm). Nessa, é possível visualizar o desgaste, homogêneo, decorrente do contato da ferramenta de corte com a rocha perfurada.



Figura 7. Aspecto físico de uma broca S8 usada em perfurações para sondagem geológica.

As alterações das propriedades mecânicas da matriz S3 devido à adição do pó metálico composto 3Cu-25Co-72Fe (tamanho médio 3,5 μm) ao pó de tungstênio (tamanho médio de 6 μm) provocaram aumento da ordem 5% na velocidade média perfurada (“avanço”), com respeito à velocidade média desenvolvida pelas coroas de matriz S7, composta por 100% W (tamanho médio de 6 μm). A matriz S8 produzida com uma mistura de pós de tungstênio (W) contendo grãos de tamanhos diversos (tamanho médio 6 μm e 15 μm) infiltradas pela liga de cobre apresentaram dureza da ordem de 315 HV₁₀ e aumento da ordem de 10% na velocidade média perfurada (“avanço”), comparado à velocidade média desenvolvida pelas coroas de matriz S7 composta por 100%W (tamanho médio de 6 μm).

O lote de coroas produzidas com distribuição bimodal de pós de W (tamanho médio 6 μm e 15 μm) apresentou desempenho superior aos demais, com menor desgaste, comprovado pela maior profundidade perfurada, e maior velocidade de perfuração. Como foi a composição de menor dureza, a exposição dos diamantes durante o corte de quartzito foi a mais eficiente, justificando a maior velocidade de corte.

Vários fatores devem ter contribuído para os resultados acima. Porém, o efeito mais pronunciado deve estar relacionado à maior facilidade de arrancamento das grandes partículas de tungstênio, as quais podem agir no sentido de permitir que os diamantes e outras partículas cortantes sejam expostos.

Com respeito à outra matriz de distribuição bimodal, porém com um segundo pó composto de Cu-Co-Fe, o efeito anterior não foi obtido, provavelmente porque as partículas deste segundo pó, de menor ponto de fusão, ligaram-se ao infiltrante,

diminuindo a dureza em relação a matriz monomodal e não contribuindo para o efeito de corte da rocha e exposição de facetas dos diamantes ou de outra partícula cortante.

Por fim, avaliando os custos de produção, o uso de mistura de pós de um mesmo metal (W), porém, contendo faixas granulométricas diversas permite reduzir em 6,0% o custo final para produção de coroas para sondagem geológica.

4 CONCLUSÕES

Para coroas diamantadas produzidas por infiltração de uma liga Cu-43Zn-1Sn em um esqueleto composto por diamantes embebidos em pós metálicos, compostos respectivamente de W monomodal (6 μm) W bimodal (6 μm e 15 μm) e W e Cu-Co-Fe bimodal (6 μm e 3,5 μm) apresentaram diminuição da dureza função do aumento no teor de cobre adicionado e também do aumento no tamanho das partículas de W usado, esse último, provocou maior influência sobre as propriedades mecânicas e melhor desempenho das coroas

O uso de misturas de pós de tungstênio (W) com tamanho médio 6 μm e 15 μm submetidos a uma etapa de sinterização e infiltração de uma liga Cu-43Zn-1Sn, em um forno tipo mufla, permitiu produzir matrizes metálicas para coroas de perfuração para sondagem geológica com dureza da ordem de 315HV.

A adição de ligas, com diferentes porcentagens de cobre (Cu), resultaram em diminuição da dureza quando se elevou o teor de cobre.

A utilização de uma matriz contendo W, com tamanho médio 6 μm e 15 μm , infiltrada com uma liga Cu-43Zn-1Sn permitiu, sob a mesmas condições de operação, força aplicadas da ordem de 5.600 N e velocidades oscilando entre 800 rpm e 1.100 rpm, em comparação ao desempenho de outras matrizes produzidas com pós de distribuição granulométrica mais estreita, aumentar em 35,33% a durabilidade das brocas, quando essas, foram usadas para perfuração em sondagem geológica no quartzito.

Avaliando os custos de produção, o uso de mistura de pós de um mesmo metal (W), porém, contendo faixas granulométricas diversas permite reduzir em 6,0% o custo final para produção de coroas para sondagem geológica.

Agradecimentos

Aos funcionários da oficina de manutenção mecânica e das equipes de sondagem geológica da Geosol Geologia e sondagens Ltda.

REFERÊNCIAS

- 1 Dawn, J. D.; Powder Metallurgy, 1988, vol 4, n2, p. 4-86.
- 2 Dawn, J. D.; Materials Science and Technology, 1988, vol. 14 p. 896-900.
- 3 Ferreira. C.R. Tratamento Térmico por Indução Eletromagnética de Hastes de Aço SAE 1045 para Sondagem Geológica; Dissertação de Mestrado, Redemat, 01/2004, pp. 49-51.
- 4 Lozzer. A.M.; Tottola. R.M.; Eisele. R.; Mello. J. D. B.; Macedo. M.C.S.; Scandian. C.; Microabrasão de Compósitos de Matriz Metálica à Base de W Empregados em Coroas de Perfuração Utilizadas em Sondagem Mineral.
- 5 DWAN, J. D, Production of Diamond Impregnated Cutting Tools, Powder Metallurgy vol 41; N° 2; 1998; pp. 84,86.

- 6 DWAN, J.D; Manufacture of Diamond Impregnated Metal Matrixes, Materials Science And Technology; 09/10 /1998; Vol- 14; pp. 896 - 900.
- 7 CHIAVERINI, V – metalurgia do pó, 4^a edição ABM –2001, pp. 3, 5, 6, 7, 73, 112, 136.
- 8 KIM, H-C., OH, D.-Y., GUOJIAN,J., SHON,I-J. Synthesis of WC and Dense WC-5% vol. Co Hard Materials by High –Frequency Induction Heated Combustion; Materials; Science Engineering; A368, 2004; pp. 10-17.
- 9 HUADONG, D.; YAMEN, L.; HONGQI, H.; ZHIHAO, J. Decreasing the Sintering temperature of Diamond-bit Matrix Material by the Addition of The Element P, Journal of Materials Processing Technology, vol. 74, 1998, pp. 52-55.
- 10 ROMANSKI, A.; LACHOWSKI, J.; E KONSTANTY, J., Diamond Retention Capacity: Evaluation of stress Field Generated in a Matrix by a Diamond Crystal, Industrial diamond Review, vol.3, 2006, pp. 43-45.
- 11 JIANG, G., ZHUANG, H., LI, W; Synthesis of Tungsten Carbide–Cobalt Composites by the Field-Activated Combustion Synthesis Method, Journal of Alloys and Compounds, 2004, p. 1-7.