



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

Carlos Roberto Ferreira²
Fernando Gabriel Silva Araújo³
Juliano de Barros Veloso e Lima⁴
Marciano Quites Macedo⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo do desempenho de compósitos de matriz metálica à base de W bimodal e a base de W monomodal acrescida de 1% e de 10% (%em peso) de Co, empregados na fabricação brocas/coroas de perfuração para sondagem geológica. Foram selecionadas três composições com as quais, por técnicas de sinterização por fase líquida, com a liga Cu-43Zn-1Sn, produziram-se lotes contendo 20 coroas cada. Os principais efeitos decorrentes da adição de cobalto 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) de granulometria média de 3,6 µm acrescidas de 10% (% em peso) de cobalto (Co) permite aumentar, em até 30% a produtividade nas operações de perfuração em quartzito para sondagem geológica.

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

PERFORMANCE OF COMPOSITES OF METALLIC MATRIX OF W AND W-Co FOR ROCK DRILLING'S BITS IN HARD QUARTZ

Abstract

This work aims to analyze the performance of sintered metals composite with a bimodal distribution of tungsten powder and tungsten monomodal increased of 1% and 10% cobalt (% weight) powder 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 measuring 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 monomodal distribution of tungsten powder (3,6µm) increased of 10% cobalt (3,9µm) powder leads to an increase of up to 30% in the performances of geological drillings.

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

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Dr., Engº Metalurgista, Prof. Dep. Metalurgia, IFMG

³ Dr., Prof. Associado, Dep. Física, REDEMAT/UFOP.

⁴ Msc., Engº Mecânico, Prof. Dep. Mecânica, CEFET/MG.

⁵ Físico, Msc.Eng. de Materiais Geosol Geologia e Sondagem S/A.

1 INTRODUÇÃO

Uma importante etapa da prospecção mineral 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 basicamente constituídas de uma matriz metálica com dispersão de pequenos diamantes de forma aleatória e são fabricadas através do processo de sinterização por infiltração. As matrizes metálicas, em geral, 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.⁽⁵⁾

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.⁽⁵⁾

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”.⁽⁵⁾

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”.⁽⁵⁻⁹⁾

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.⁽⁵⁾

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 devido à tensão residual gerada, em função da temperatura de processamento, na interface entre as partículas de cobalto e diamante, em função dos diferentes coeficientes de dilatação térmica.⁽¹⁰⁻¹²⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu no estudo das propriedades físicas, seleção e uso de pós de tungstênio e de cobalto com formas irregulares (Figura 1) e da formação de misturas de ambos, metais, tungstênio e cobalto, 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 submetidas 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 1100°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
S8	35% W (2,8 - 4,4 μm) + 65%W (14 -17 μm)
S9	99% de W(2,8 - 4,4 μm) + 1,0 % de Co EF (3,9 μm)
S10	90% de W (2,8 - 4,4 μm) + 10 % de Co EF (3,9 μm)

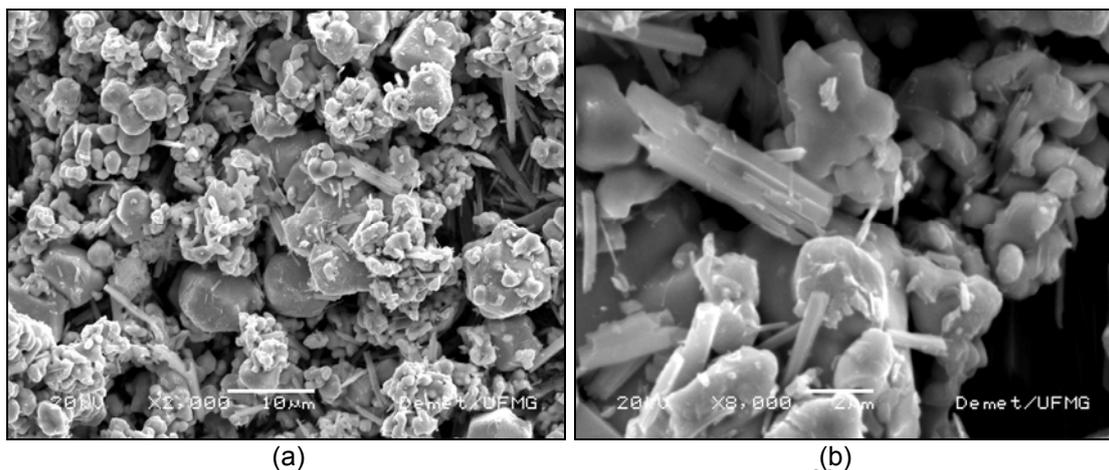


Figura 1. Imagens obtidas por MEV dos pós metálicos, (a) W (15,5 μm)^[6] e (b) Co (3,9 μm), utilizados na fabricação de coroas diamantadas de perfuração geológica.

Foram produzidos três (3) 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.⁽⁵⁾

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

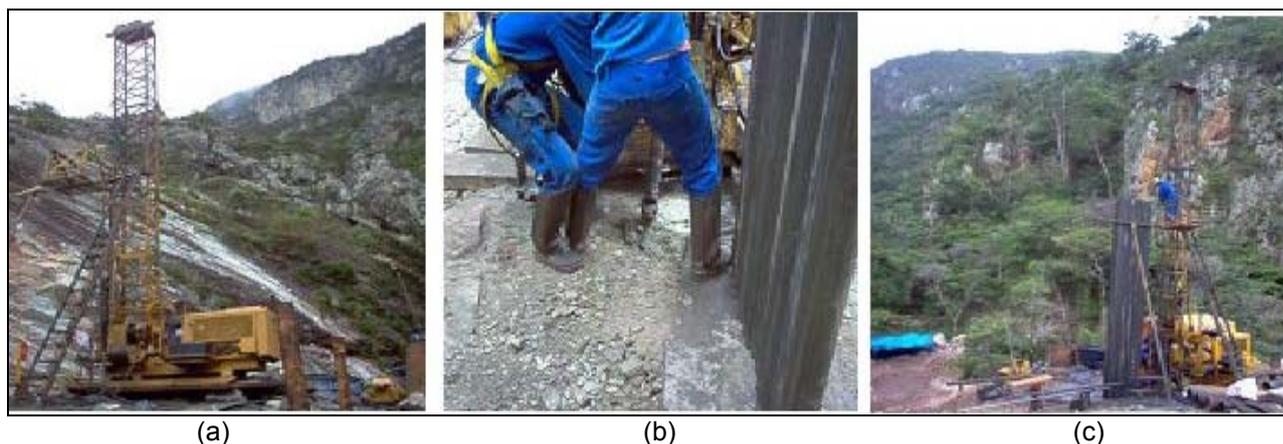


Figura 2. (a) Sonda rotativa para perfuração em sondagem geológica. (b) Início de operação de perfuração com uma coroa produzida no estudo. (c) Vista geral de uma praça para sondagem com equipamentos e ferramentas.⁽⁵⁾

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.

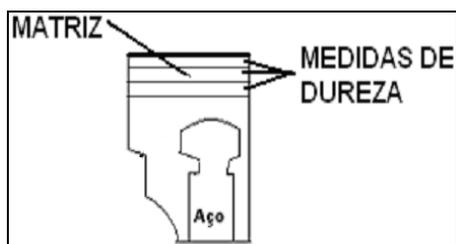


Figura 3. Representação esquemática da seção transversal de um corpo de prova usada para medir os valores médios de dureza das matrizes metálicas obtidas no estudo.⁽⁵⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mostrado na Figura 4, a matriz metálica identificada como S8, fabricada a partir de pós de W de tamanhos médios distintos ($3,6 \mu\text{m}$ e $15,5 \mu\text{m}$) apresentou dureza da ordem de 330HV_{10} . Além desta, a matriz (S9) produzida com uma mistura de pós de W, de tamanho médio $3,6 \mu\text{m}$, acrescida de 1% de Co de tamanho médio $3,9 \mu\text{m}$ apresentou dureza da ordem de 329HV_{10} . Já a matriz (S10) produzida com uma mistura de pós de W de tamanhos médios $3,6 \mu\text{m}$ acrescida de 10% de Co de tamanho médio $3,9 \mu\text{m}$ atingiu valores de dureza da ordem de 325HV_{10} . Os resultados obtidos indicam que foi o aumento do teor de Co que

reduziu a dureza, pois as matrizes S9 e S10 têm partículas de W com a mesma granulometria.

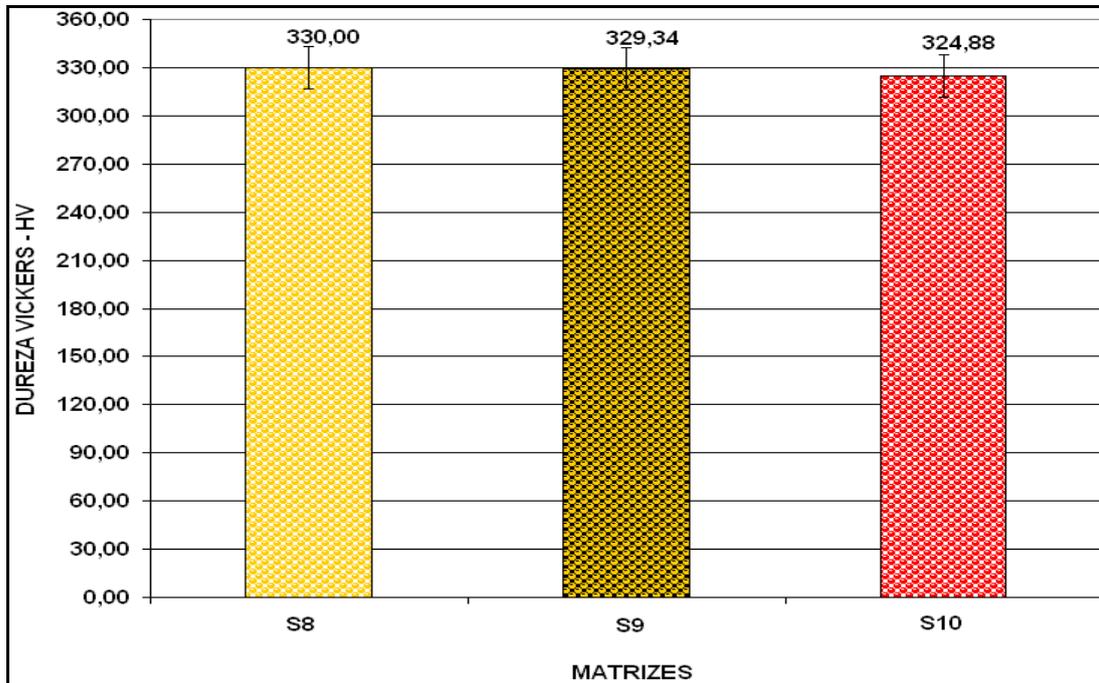


Figura 4. Valores médios de dureza Vickers - HV medidos na seção transversal dos corpos de prova das matrizes metálicas elaboradas para produção de coroas de perfuração aplicadas na sondagem geológica de quartzito.

Em solo constituído predominantemente por quartzito, foram realizados, como testes de campo, furos de inclinação com a vertical variando entre 78° de 89°. [5] Sobre as coroas foram aplicadas forças da ordem de 5600N e velocidades oscilando entre 800 rpm e 1.100 rpm, objetivando desenvolver velocidade periférica média de 10cm/min. (4) Para avaliar o desempenho e a durabilidade das brocas de matrizes metálicas desenvolvidas nesse estudo, foram perfurados 2.340 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. (5)

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.

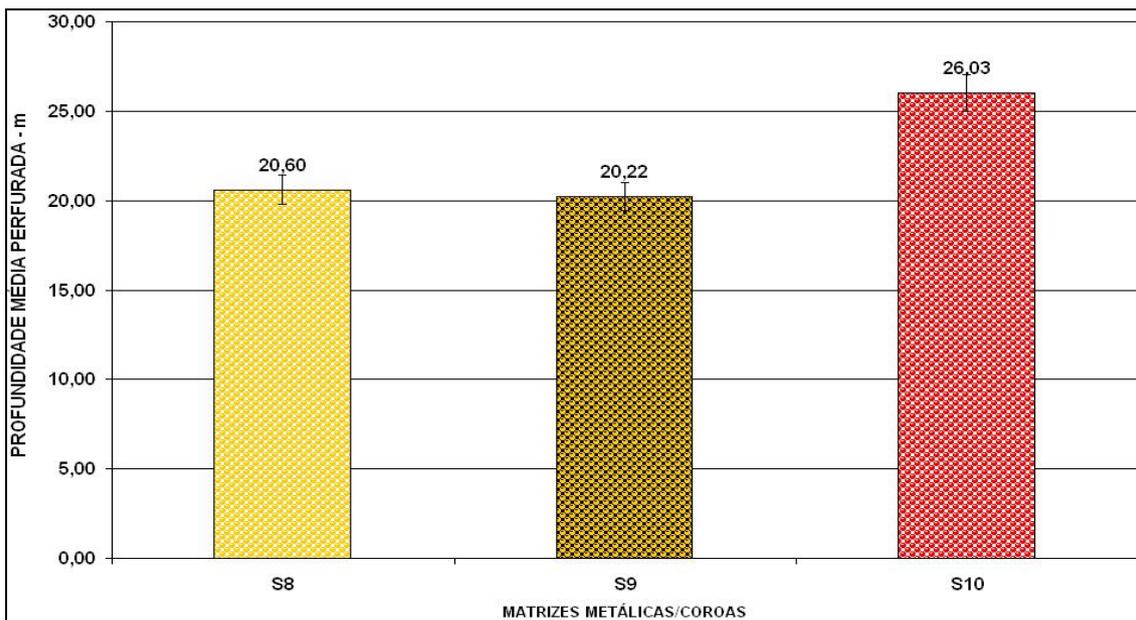


Figura 5. Profundidade média perfurada por coroa no quartzito, para as coroas S8, S9 e S10, de matriz metálica à base de W e W acrescido, respectivamente, de 1% e 10% de Co.

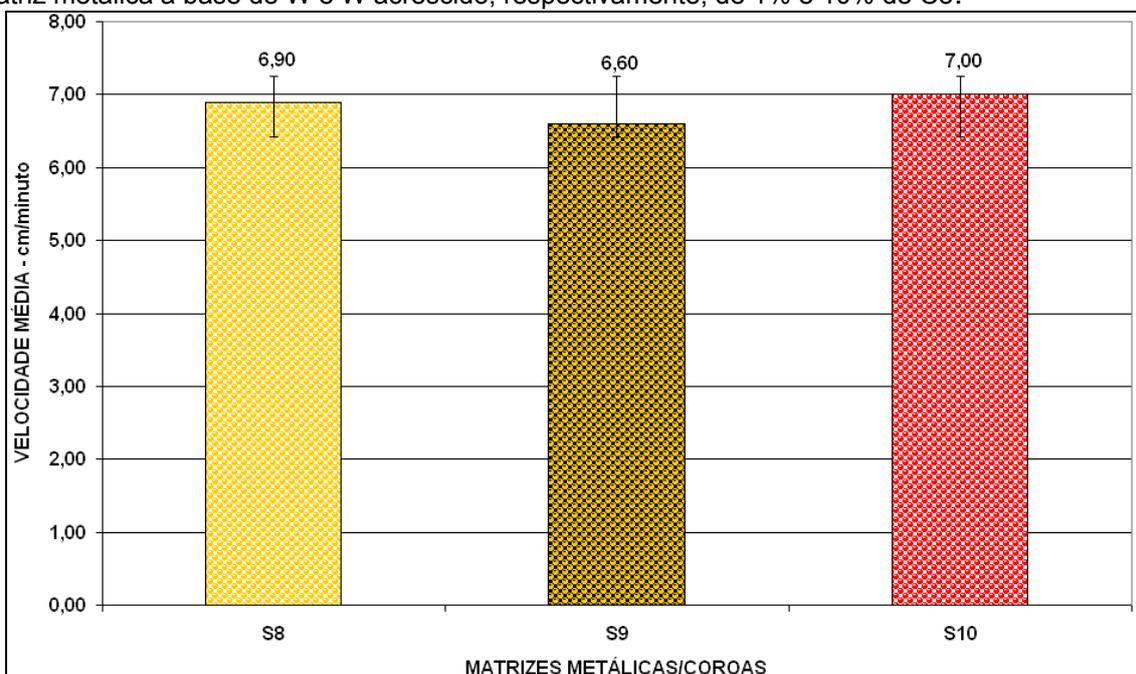


Figura 6. Velocidade média desenvolvida durante as perfurações executadas em quartzito, para as coroas S8, S9 e S10, de matriz metálica a base de W e W acrescido, respectivamente, de 1% e 10% de Co.

A análise das Figuras 5 e 6 mostra que para perfuração em quartzito, as coroas produzidas com as matrizes S8 fabricadas com pós de W (tamanho médio 3,6 μm e 15,5 μm) e S9 (W tamanho médio original de 3,6 μm acrescida de 1% de Co de tamanho médio 3,9 μm) apresentaram desempenho operacional da ordem de 20 metros perfurados por coroa. As coroas S10 fabricadas com pós de W (tamanho médio 3,6 μm) acrescida de 10% de Co (tamanho médio 3,9 μm) apresentaram o melhor resultado médio, cerca de 26 metros perfurados por coroa. A durabilidade das coroas S10 foi superior em 30% se comparado às coroas S8 e S9 respectivamente.

Quanto à velocidade média perfurada (“avanço”), aplicando entre 800 rpm e 1.100 rpm, os lotes de coroas S8, S10 apresentaram resultados aproximadamente semelhantes. Houve, no entanto, uma redução de 5% no desempenho apresentado pelo lote de coroa S9 em relação aos lotes de coroas S8 e S10.

A Figura 7 mostra as fotografias de uma coroa de perfuração para sondagem geológica S9 (W tamanho médio 3,6 μm) acrescida de 1% de Co (tamanho médio 3,9 μm) e outra S8 fabricada com duas faixas granulométricas distintas de pós de W (tamanho médio 3,6 μm e 15 μm). Nessas, é possível visualizar o desgaste decorrente do contato da ferramenta de corte com a rocha perfurada.



Figura 7. Aspecto físico de uma broca; (a) S9 e (b) outra S8, ambas, usadas em perfurações para sondagem geológica.

A matriz S8 produzida com uma mistura de pós de tungstênio (W) contendo grãos de tamanhos diversos (tamanho médio 3,6 μm e 15,5 μm) infiltradas pela liga de cobre apresentou dureza da ordem de 330 HV₁₀. As alterações das propriedades mecânicas das matrizes metálicas S10, desenvolvidas neste estudo, devido à substituição da fração de W (tamanho médio 15,5 μm) por 10% de Co (tamanho médio 3,9 μm), apesar de discreta redução de dureza, da ordem de 1,55%, essa permitiu aumentar em cerca de 30 % a durabilidade das coroas S10.

O lote de coroas, S10, 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 durabilidade e velocidade de corte.

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

Nas ferramentas de corte, o teor de cobalto varia entre 3,0% e 15,0%,⁽¹³⁾ sendo assim, com respeito à outra matriz composta de 99 % de W (tamanho médio 3,6 μm) acrescidas de 1% de Co (tamanho médio 3,9 μm), o efeito anterior não foi obtido, visto que a quantidade deste segundo pó, não foi suficiente, para alterar a dureza em relação à matriz bimodal de pós de W 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 W e de Co não permitiu reduzir o custo final para produção de coroas para sondagem



geológica e, então, para se obter vantagens torna-se necessário modificar parâmetros operacionais para perfuração em quartzito.

4 CONCLUSÕES

Para brocas/coroas diamantadas produzidas por infiltração de uma liga Cu-43Zn-1Sn em um esqueleto composto por diamantes sintéticos "MBS 760" embebidos em pós metálicos, compostos respectivamente de W bimodal de tamanho médio 3,6 µm e 15,5 µm W monomodal (3,6 µm) acrescido de 1% Co (3,9 µm) e W monomodal (3,6 µm) acrescido de 10% Co (3,9 µm) apresentaram pequena diminuição da dureza em função do teor de Co adicionado sendo que, a adição de 10% de Co (% em peso) provocou maior influência sobre as propriedades mecânicas e melhor desempenho das coroas

O uso de misturas de pós de tungstênio (W) com tamanho médio 3,6 µm e 15,5 µm e de pós de tungstênio (W) com tamanho médio 3,6 µm acrescidas de 10% de Co, com tamanho médio 3,9 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 330 HV e 324 HV respectivamente.

Nos testes de campo, aplicando força compressiva da ordem de 5.600 N e velocidades oscilando entre 800 rpm e 1100 rpm, se comparado ao desempenho obtido com coroas produzidas com a matriz formada de pós de W com distribuição granulométrica bimodal de tamanho médio 3,6 µm e 15,5 µm, o uso de brocas/coroas diamantadas produzidas com a matriz contendo W, com tamanho médio 3,6 µm acrescida de 10% Co de tamanho médio 3,9 µm permitiu aumentar em 30% a durabilidade das brocas/coroas, quando essas, foram usadas para perfuração em sondagem geológica no quartzito.

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., DE MELLO, J.D.B., DE MACEDO, M. C. S., SCANDIAN, C. Microabrasão de compósitos de matriz metálica a base de w empregados em coroas de perfuração utilizadas em sondagem mineral. Anais do 62° Congresso Anual da ABM – Internacional. 23 a 27 de julho. Vitória – ES, Brasil, 2007.
- 5 FERREIRA, C.R., ARAÚJO, F.G.S., EISELE, R., MACEDO, M.Q. Avaliação do desempenho de compósitos de matriz metálica a base de w empregados em brocas de perfuração para sondagem geológica em quartzito. Anais do 64° Congresso Anual da ABM. 13 a 17 de julho. Belo Horizonte - MG, Brasil. 2009.
- 6 DWAN, J. D, Production of Diamond Impregnated Cutting Tools, Powder Metallurgy vol 41; N° 2; 1998; pp. 84,86.



- 7 DWAN, J.D; Manufacture of Diamond Impregnated Metal Matrixes, Materials Science And Technology; 09/10 /1998; Vol- 14; pp. 896 - 900.
- 8 CHIAVERINI, V – metalurgia do pó, 4^a edição ABM –2001, pp. 3, 5, 6, 7, 73, 112, 136.
- 9 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.
- 10 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.
- 11 ROMANSKI, A.; LACHOWSKI, J.; 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.
- 12 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.
- 13 SHIBATA J., TANABE S., KUMO M., AKIYAMA H., AMITAMI T. On the sintering process of cobalt and diamond mixed powder compacts, J. Lap. Soc. Powder & metal, v.3, p. 109-113, 1988.