

PRODUÇÃO DE BITS DE PERFURAÇÃO A PARTIR DA SINTERIZAÇÃO DE Wc-Co-DIAMANTE EM ALTAS PRESSÕES E ALTAS TEMPERATURAS¹

*Guerold Sergueevitch Bobrovnitchi²
Ana Lúcia Diegues Skury³
Ricardo de Paula Moura⁴
Marcello Filgueira⁵*

Resumo

Na maioria dos casos a perfuração dos poços e concretos realiza-se pelos bits das perfuradoras feitos de metal duro (Wc+Co). Já há duas décadas são utilizados bits feitos no sistema "metal duro-diamante" via processo de metalurgia de pó que tem a capacidade exploratória aumentada. As tentativas de obter um material diamantado para bits mostraram que os melhores resultados são oferecidos pela tecnologia das altas pressões. Neste trabalho foi feita a pesquisa da metodologia de obtenção de bits diamantados, aplicando a pressão de 5,0 GPa e temperatura de 1400°C durante 3 e 5 minutos. Foram estudadas as composições de matriz-ligante a partir de WC-10%, 15% e 20%. Co e adoção de diamante para matriz em quantidade de 10, 25 e 50%. Os resultados mostraram que as propriedades físico-mecânicas do novo material são superiores aos materiais de bits comerciais. Os testes simples de perfuração justificam a efetividade do novo material para bits.

Palavras-chave: Bits; Butil; Perfuração; Diamante; Alta pressão; Material duro.

Abstract

In most cases the drilling of wells and concrete is carried out by the drilling bit made of hard metal (WC + Co). Two decades are used bits made in the "diamond-hard metal" via powder metallurgy process that has increased exploratory capacity. Attempts to obtain a material for diamond bits showed that the best results are offered by the technology of high pressure. This work was done in search of methodology for obtaining diamond bits, applying the pressure of 5.0 GPa and temperature of 1400 °C for 3 to 5 minutes. We studied the compositions of the matrix-binder from WC-10%, 15% and 20%. Co and adoption of a diamond to matrix in quantities of 10, 25 and 50%. The results showed that the physical-mechanical properties of the new material are superior to material for commercial bits. Tests of simple drilling justify the effectiveness of new material to bits.

Key words: Bits; Chisel; Perforation; Diamond; High pressure; Hard material.

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

² *PhD. Engenharia Mecânica – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil - LAMAV/CCT/UENF, guerold@uenf.br*

³ *D.Sc. Professora, LAMAV, lucia@uenf.br*

⁴ *Aluno de IC – Pibic/UENF – LAMAV/CCT/UENF*

⁵ *DSc., Professor, LAMAV/CCT/UENF, marcello@uenf.br*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as ferramentas usadas pelas indústrias de corte e perfuração de rochas são produzidas a partir de carbetos de tungstênio e cobalto (WC-Co) com composições variadas.⁽¹⁻⁷⁾ Observa-se também que a demanda por ferramentas mais efetivas para perfuração utilizando perfuratriz de percussão-rotação vem aumentando significativamente. Sabe-se que os cortadores de metal duro são bastante frágeis e exibem baixa resistência quando aplicados nos burils de perfuração percussivos, o que diminui a vida útil do bit em serviço.⁽²⁾

Para efetividade da perfuração é necessário melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos cortadores, principalmente no que se refere à resistência mecânica, a dureza e a resistência ao desgaste, o que é tecnicamente difícil pelos métodos convencionais de produção, ou seja, via metalurgia do pó.⁽³⁾ A solução seria então a utilização de um material compósito diamantado (MCD) a base de WC-Co com diamante incorporado como uma terceira fase/constituente, agregando assim uma significativa melhora nas propriedades. A manufatura do MCD pode ser feita tanto pela metalurgia de pó^(8,9) quanto por sinterização assistida por altas pressões.⁽¹⁰⁻¹⁶⁾

A interação do diamante com a matriz de metal duro determina-se em primeiro lugar pela reação do diamante com o cobalto que atua como ligante entre WC e diamante.⁽¹³⁾ A combinação única de dureza, resistência à tenacidade tem feito dos componentes diamantados uma excelente solução para muitas situações problemáticas na perfuração de rochas.⁽²⁾ A incorporação do diamante como fase dispersa na matriz de metal duro confere, em relação ao bit de metal duro, melhores propriedades ao compósito formado elevando a eficiência e a durabilidade destes bits de maneira a reduzir os custos do processo.⁽¹³⁻¹⁵⁾ Para minimizar a grafitização foram aplicadas às tecnologias de sinterização dos compósitos via altas pressões e altas temperaturas,^(13,16) obtendo um material diamantado com matriz de WC-C. Em termos de produção via aplicação de altas pressões e altas temperaturas, os MCD podem ser manufaturados em diversos formatos, sendo os mesmos limitados somente pelas dimensões da câmara de compressão do dispositivo de alta pressão (DAP) e dos valores de pressão aplicada durante o processo de sinterização.⁽¹⁵⁾ Desta forma, o objetivo do presente trabalho é produzir compósitos com composição WC-Co-C_{Dia} variável, utilizando teores máximos de diamante de até 50%p. Pretendeu-se com isso a avaliação de algumas particularidades do processo de sinterização dos compósitos do sistema WC-Co-C_{Dia} visando o aumento da capacidade de corte durante a perfuração.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Para a realização dos experimentos foram usados pó de diamante sintético 40/28 μm produzido na UENF, pó de carbetos de tungstênio com granulometria variando entre 5 μm e 7,5 μm , e pó de cobalto com granulometria 50/40 μm . Os pós de carbetos de tungstênio e de cobalto foram inicialmente misturados em três proporções diferentes, formando as misturas de base (B1, B2, B3), com percentual máximo de cobalto de 20% em peso.

Após a preparação das misturas de base foi introduzido o diamante sintético nas mesmas, com a concentração máxima de 50% em peso para a preparação das misturas reativas a serem sinterizadas. A composição das misturas reativas utilizadas pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição das misturas para a sinterização

Índice	Composição das misturas reativas	Tempo de sinterização (min)	Composição das Misturas de Base
1	100%pB1	3	Mistura B1 (90%pWC+10%pCo)
2	90%pB1 + 10%pDia		
3	75%pB1 + 25%p Dia		
4	50%pB1 + 50%p Dia		
5	100%pB1	5	
6	90%pB1 + 10%pDia		
7	75%pB1 + 25%p Dia		
8	50%pB1 + 50%p Dia		
9	100%pB2	3	Mistura B2 (85%pWC+10%pCo)
10	90%pB2 + 10%pDia		
11	75%pB2 + 25%p Dia		
12	50%pB2 + 50%p Dia		
13	100%pB2	5	
14	90%pB2 + 10%pDia		
15	75%pB2 + 25%p Dia		
16	50%pB2 + 50%p Dia		
17	100%pB2	3	Mistura B3 (80%pWC+20%pCo)
18	90%pB3 + 10%pDia		
19	75%pB3 + 25%p Dia		
20	50%pB3 + 50%p Dia		
21	100%pB2	5	
22	90%pB3 + 10%pDia		
23	75%pB3 + 25%p Dia		
24	50%pB3 + 50%p Dia		

Após a preparação das misturas reativas, prepara-se a cápsula deformável montada como visto na Figura 1. O processo de sinterização foi realizado utilizando o DAP tipo bigorna com concavidade central (diâmetro de 55 mm) na prensa 2500 Toneladas de força (Modelo D0044, Rússia). Antes da sinterização foi realizada a calibração da pressão, $P_2 = f(P_1)$ e da temperatura, $T=f(l)$ ou $T=f(W)$ na câmara de compressão do DAP em conformidade de regras apresentadas no trabalho [18]. As sinterizações foram realizadas com os seguintes parâmetros: corrente de 920A, promovendo o aquecimento da mistura na temperatura de 1400°C, e pressão no cilindro principal da prensa de 105 MPa que gera a pressão de 5 GPa no interior da câmara de compressão. O tempo da manutenção dos parâmetros de sinterização variou de 3 min até 5 min. Após a sinterização as amostras foram removidas da cápsula deformada e retificadas no topo e na superfície lateral, obtendo-se assim MCD com dimensões 6,2 mm de diâmetro e 11,4 mm de altura. A densidade foi medida através do método de Arquimedes.

As durezas HRA foram realizadas em cinco pontos ao longo do diâmetro de cada amostra. A microdureza na interface “diamante-matriz” e fora da interface foi medida com a utilização do microscópio PMT-3, utilizando indentador Vickers com carga de 0,49 N. A resistência à compressão foi medida em uma máquina universal de ensaios, “INSTRON”, usando bigornas de metal duro. O mesmo método foi utilizado para aplicar as tensões de flexão, comprimindo as amostras no sentido diametral. A tenacidade à fratura é produto da penetração da pirâmide do durômetro, este valor foi medido em conformidade com as dimensões do indentador na superfície da amostra.

A avaliação do desgaste para cada cortador não pôde ser feita pelo modo convencional ligado com desgaste abrasivo, pois cada bit (cortador) desempenha o papel de destruidor da rocha através de impacto local e não de corte. Para os testes de impacto é necessário ter o dispositivo especial que não é encontrado nos centros de pesquisas do Estado do Rio de Janeiro. Por esta razão os cortadores (bits) obtidos foram empregados nos burils já existentes, dos perfuradores de concreto usados na construção da ponte do porto do Açu (Campos, RJ).

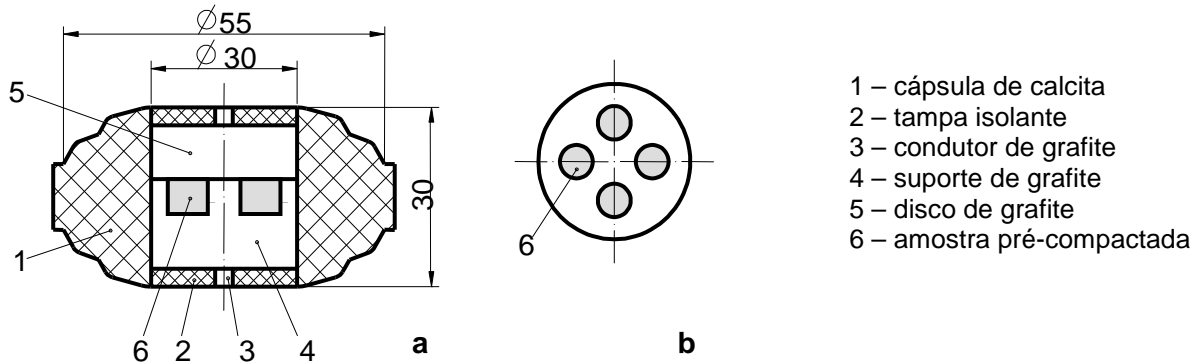


Figura 1 - Corte axial (a) da cápsula deformável com célula reativa e uma vista da seção transversal (b) da célula reativa de calcita.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidas 30 amostras entre as quais foram selecionadas 24 unidades isentas de defeitos superficiais, revelados após a retífica previa dos topos e das superfícies cilíndricas. Notou-se que a retífica das amostras foi uma tarefa de alta complexidade de execução. As estruturas das amostras feitas somente a partir da mistura WC-Co (amostras 1, 5, 9, 15, 17,21) são similares, apresentando estrutura relativamente fina e heterogênea, conforme pode ser visto na Figura 2. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados relativos às propriedades dos MCD produzidos.

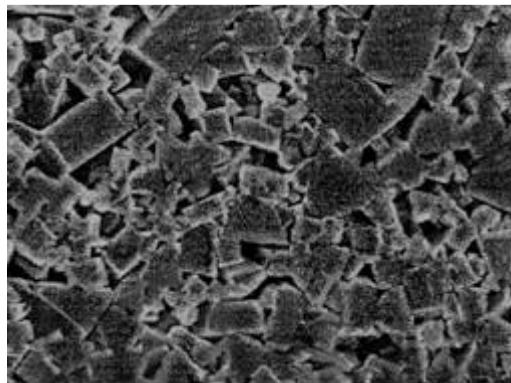


Figura 2- Estrutura da matriz WC+Co obtida por altas pressões (M.O.)

Iniciando a análise a partir das propriedades das amostras sem a presença de diamantes, pode-se notar que com a aplicação de altas pressões e altas temperaturas mudam as propriedades físicas e mecânicas do metal duro para qualquer composição (WC-Co). Nota-se que o aumento das propriedades em função da variação na composição tem alguns limites. Por exemplo, a dureza HRA para o metal duro sem presença de diamantes parou de aumentar nas amostras com maior quantidade de cobalto.

Os valores da tensão de compressão axial estática são diferentes para cada composição, mas com o aumento do teor de diamante na matriz WC-Co com composição variável, as tensões de compressão axial finais aumentam. As tensões de flexão diminuem com o aumento percentual de diamante e crescem com o aumento percentual de cobalto na matriz. Da avaliação das grandezas das propriedades apresentadas na Tabela 2 mostram algumas irregularidades em relação a tenacidade à fratura e a microdureza. Foi impossível medir precisamente as propriedades devido às variações superficiais nos pontos de medição em cada amostra.

Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas dos MCD obtidos.

amostras	Densidade (g/cm ³)	Dureza (HRA)	Resistência a Compressão, (ζ_{com} , GPa)	Resistência a Flexão (ζ_{fl} , GPa)	Tenacidade à Fratura, K_{1c} (MPa.m ^{0,5})	Microdureza, GPa	
						Fronteira "diamante-matriz"	25µm distante da fronteira
1	14,8±0,1	89,0	4,3	1,7	15,2	19,0	10,0
2	13,31	90,0	4,6	2,0	14,5	26,4	17,8
3	11,68	92,0	5,2	2,1	19,8	-	18,1
4	9,45	95,0	5,8	1,8	11,5	24,5	16,9
5	14,8±0,2	90,0	4,4	1,8	15,1	10,1	0,0
6	13,2	91,0	4,8	1,9	14,3	26,5	-
7	11,32	92,0	5,4	2,0	13,9	25,6	18,0
8	9,28	94,0	5,9	1,8	12,0	25,0	17,0
9	14,2±0,1	86,8	3,8	2,1	15,8	9,0	9,1
10	13,28	89,0	4,3	2,0	14,2	-	18,0
11	11,6	90,0	4,9	2,0	13,5	26,2	16,8
12	9,38	92,0	5,3	1,8	13,5	25,7	-
13	14,6±0,1	88,0	3,8	2,2	15,4	9,1	8,9
14	13,21	90,0	4,4	2,0	14,0	26,9	16,3
15	11,52	92,0	5,1	1,9	13,4	-	15,4
16	9,3	93,0	5,5	1,8	12,8	25,1	16,0
17	13,9±0,1	85,6	3,2	2,4	16,8	7,8	7,8
18	12,8	88,5	3,3	2,0	15,9	27,4	17,8
19	11,3	91,5	3,5	1,9	12,1	27,0	17,2
20	8,7	93,0	4,2	1,7	11,5	25,0	16,3
21	14,0±0,2	86,2	3,3	2,5	15,8	27,8	16,8
22	12,7	89,0	3,3	2,0	13,5	26,0	18,1
23	11,02	92,0	3,4	1,8	12,0	26,8	17,3
24	8,58	93,0	3,8	1,7	11,3	-	17,0

Na Figura 3 são apresentadas as microestruturas da superfície polida da interface "diamante-matriz" dos cortadores elaborados.

A análise das imagens mostra que na zona ao redor do diamante (amostra 7) notam-se algumas cavidades (Figura 3a), trincas e regiões onde houve arrancamento das partículas a partir da matriz (Figura 3b). Já na amostra 11 as

trincas e cavidades na mesma zona não são observadas (Figuras 3c e 3d). A particularidade destas amostras é que elas têm a superfície de relevo desenvolvida pela destruição da matriz ao redor do grão de diamante. O micro relevo da fratura das partículas de diamante nas amostras também se diferenciam. Nas amostra 7 a fratura comumente ocorre por causa de uma fonte de tensões que se encontra na fronteira "matriz-diamante" (Figura 4c). Na amostra 11 tais fontes aparecem por conta da forte compressão multilateral das partículas de diamante pela matriz e pela presença de tensões de tração na matriz (Figura 4a), pois em último caso na superfície de fratura das partículas de diamante forma-se o relevo fortemente desenvolvido com alto grau de quebra em diferentes escalas, Isto fica evidente devido ao aparecimento da ramificação desenvolvida a partir das trincas durante a fratura (Figura 4b).

Os dados experimentais obtidos mostram que nas pequenas cavidades formadas pelo arrancamento do diamante e na superfície das partículas de diamantes arrancadas (que é característica para as amostras com baixa capacidade de retenção), na maioria dos casos, têm-se teores acentuados de carbono (Figura 5). Este fato foi observado para as amostras com tempos de sinterização prolongados, tais como as amostras 16 e 24. Cabe ressaltar que os principais fatores que determinam a característica de retenção acentuada do diamante nos compósitos são a interação química do diamante com um componente da matriz, aumento da extensão da convecção do contato das partículas com a matriz por conta do aumento da rugosidade da superfície e formação dos contatos mecânicos com aplicação de altas pressões. Estas condições coincidem com aquelas apresentadas por Ramalho.⁽¹⁸⁾

Os resultados obtidos aqui demonstram ainda que as estruturas das amostras diferenciam-se em função da composição e do tempo de sua obtenção. A estrutura das amostras 1, 5, 9, 13, 17, 21 (sem adição de diamantes) diferenciam-se pela distribuição heterogênea do ligante Co (Figura 5b). A zona ao redor do cristal de diamante é rica em cobalto. A formação desta zona influencia de forma negativa sobre a estrutura das amostras. No processo de sinterização o Co e os grãos de WC se redistribuem no volume da amostra. O cobalto concentra-se ao redor do diamante e os grãos de WC agrupam-se na distância de 15-20 μm da interface "diamante-matriz", criando um segundo anel rico em WC. No processo de resfriamento da zona rica em cobalto ocorre a recristalização e o crescimento de grãos do WC, com formação das superfícies de contato WC-WC. Além disso, nesta zona, devido à diferença no coeficiente de expansão térmica do diamante, Co e do WC, surgem grandes tensões originando a formação de poros, trincas e também da fratura transcristalinas na fronteira "diamante-matriz". Nota-se ainda o destacamento dos cristais de diamantes (Figuras 5a e 6a).

Assim, com a aplicação da alta pressão a estrutura da matriz forma-se mais dispersa e aperfeiçoada (Figura 6d) e a concentração de cobalto na zona de fronteira com diamante é menor. Na região de contato "diamante-matriz" não são observados poros, trincas ou fraturas (Figuras 6c e 6b). Estas observações permite afirmar que a retenção dos diamantes nos cortadores será melhor do que nos elementos sinterizados obtidos a partir da tecnologia convencional, ou seja, sem a aplicação de alta pressão. Após os testes iniciais, as amostras cilíndricas foram usinadas e retificadas novamente obtenção do topo com perfil esférico (Figura 7).

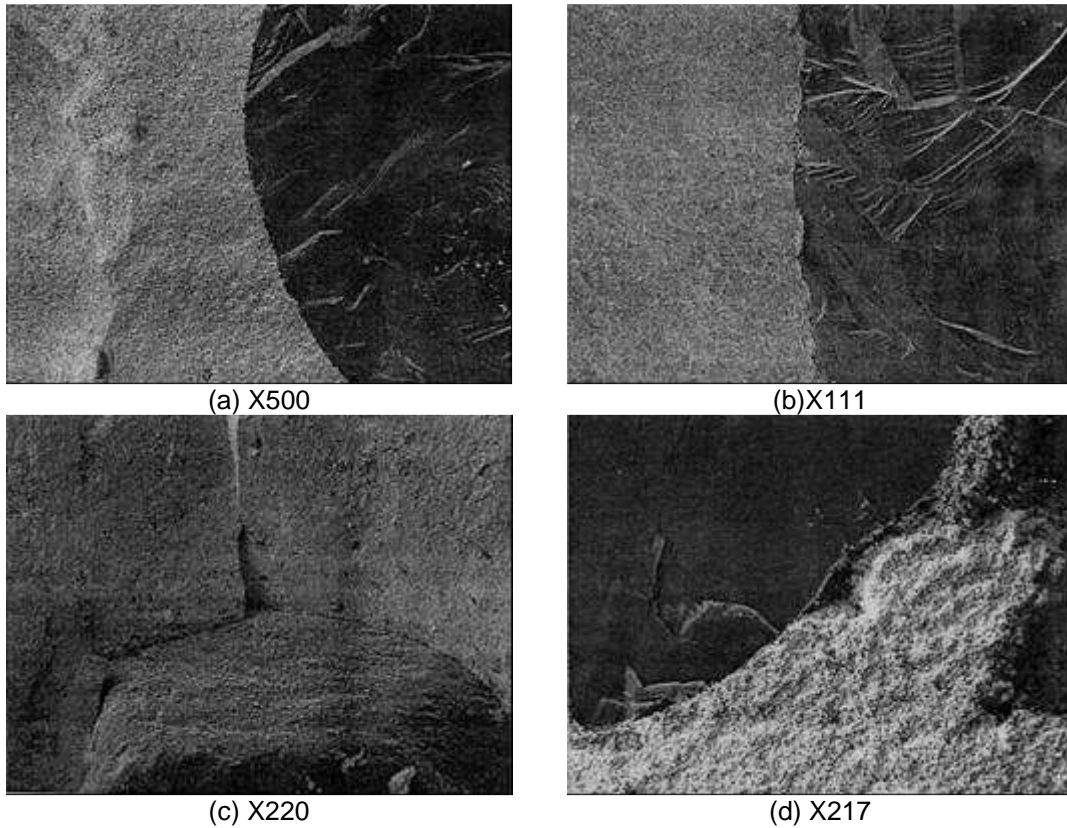


Figura 3 - MEV da microestrutura da superfície de fratura das amostras. (a) e (b) amostra 7; (c) e (d) amostra 11.

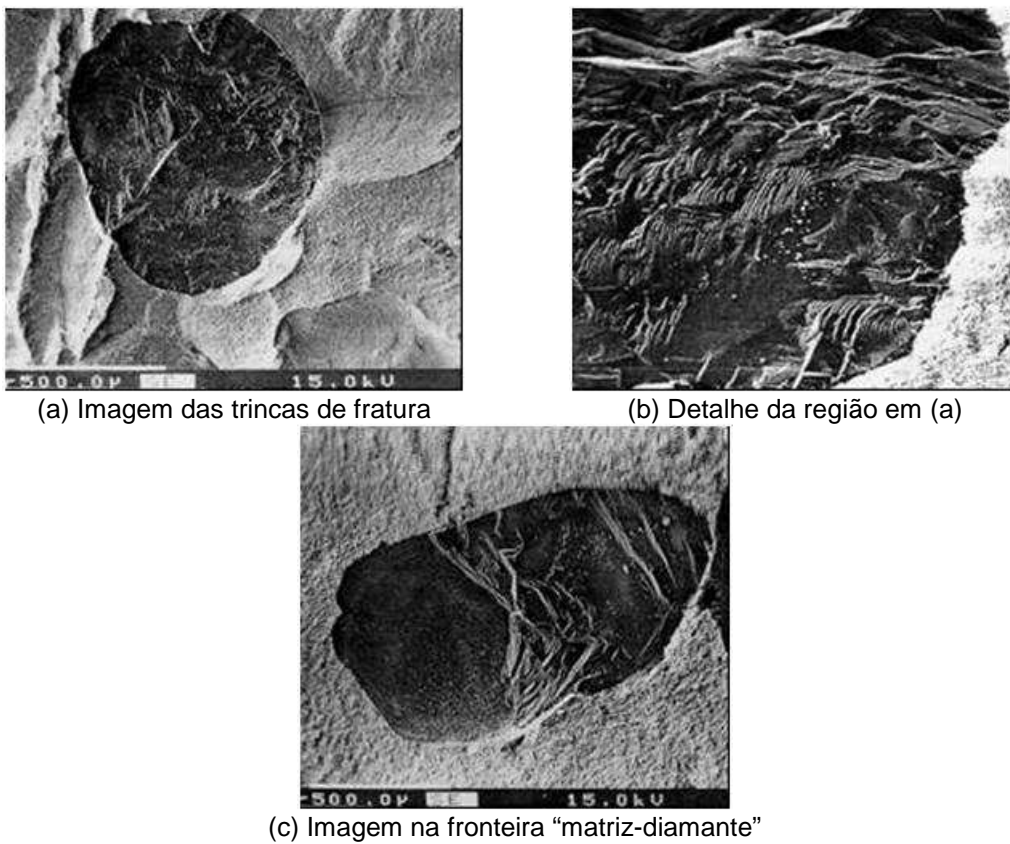


Figura 4. Imagens das microestruturas típicas de cisalhamento das partículas de diamante do compósito e micro relevo da distribuição da matriz que cerca os diamantes (MEV).

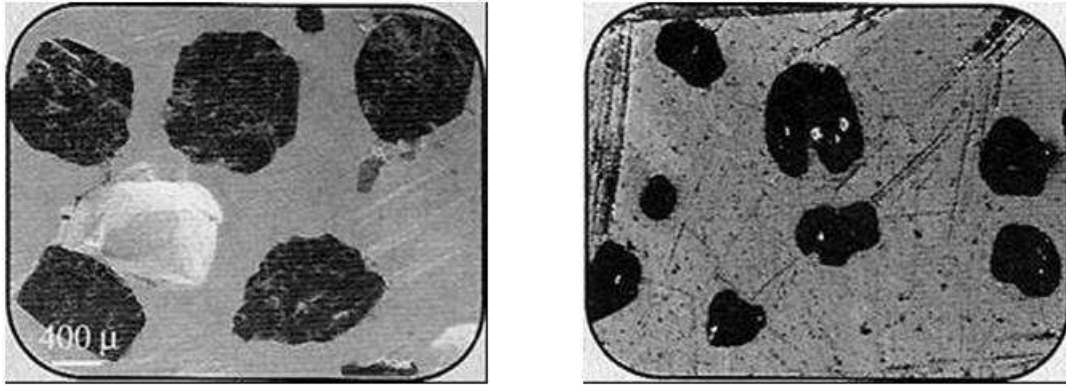


Figura 5. Estrutura das amostras (a) e (b).

Os testes finais ligados com a determinação da capacidade exploratória dos cortadores a base dos materiais desenvolvidos não foram realizados de maneira correta por causa de muitos fatores. A empresa onde foram realizados os testes tem somente duas perfuradoras com buril de construção diferenciado (Figura 8). Os testes foram feitos somente para as amostras que apresentaram as melhores propriedades mecânicas, mas os resultados dos testes dependeram da construção do buril. No buril (Figura 8a) os bits não foram desgastados ou quebrados. Mas na construção (Figura-8b) todos os bits que ficavam na periferia do buril foram quebrados, em geral com cerca 232 minutos de trabalho. Os bits neste suporte sofreram as tensões de flexão cíclicas, e apesar de terem alto valor de cobalto em suas composições (20%) se quebraram na secção máxima dos bits, apresentando a ruptura típica de flexão.

Sabendo que os funcionários da empresa trocam os burils usados por novos três ou cinco vezes em cada 8 horas de trabalho, pode ser dito que o bit desenvolvido tem maior capacidade que os bits convencionais, de produção comum.

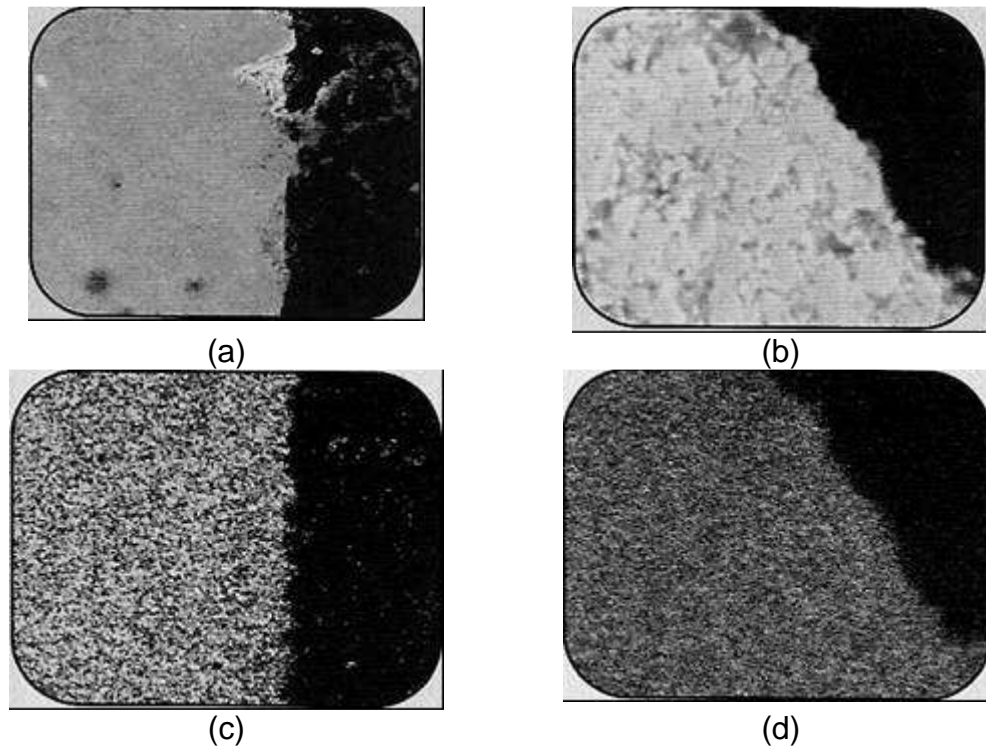


Figura 6. Aspectos da zona de contato "diamante-matriz".



Figura 7. Fotografia dos bits obtidos.

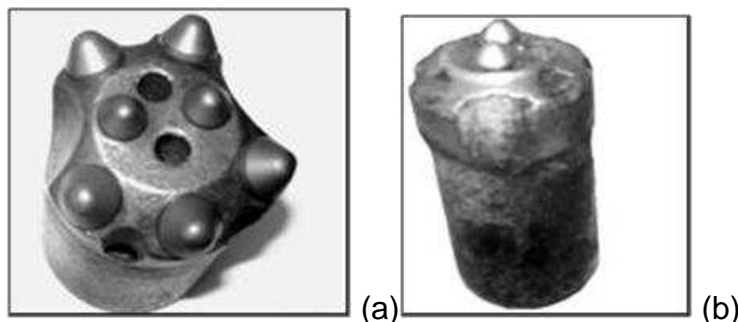


Figura 8. Fotografia dos Burils com os cortadores. (a) Buril com 7 cortadores com instalação não simétrica dos bits (b) Buril com 6 cortadores (4 quebrados)

4 CONCLUSÃO

A aplicação de altas pressões permite a melhor homogeneidade na distribuição da matriz e melhora os contatos na fronteira "diamante-matriz". A adesão do diamante com a matriz (WC+Co) aumenta com a aplicação de altas pressões e altas temperaturas. A variação da composição da matriz de 10% a 20%Co e a de diamante de 10% a 50% melhora as propriedades dos compósitos. Os compósitos de WC+Co e WC+Co+C_{Dia} sem porosidade obtidos em condições de altas pressões são obtidos com temperatura menor do que nos processos comuns. Os compósitos de WC+Co e WC+Co+C_{Dia} obtidos nas condições de altas pressões têm os valores de dureza HRA e microdureza maiores do que os compósitos processados convencionalmente. Isto pode ser explicado pelo aparecimento da estrutura ultra dispersa da matriz e pelo aumento da densidade de deslocamentos de fase carbídica das matrizes utilizadas. Os melhores resultados foram obtidos para os compósitos com composições de (WC-10%Co)-25%Diamante. O melhor tempo para sinterização deve ser inferior a 3 minutos.

REFERÊNCIAS

- 1 Vassel C.H., Krawitz A.D. ET AL. Binder Deformation in WC-(Co,Ni) Cemented Carbide Composite. Metallurgical Transformation, A, 1985, V.16A, pp. 2509-2317.
- 2 Rowcliffe D.J., Jayaram V., Hibbs M.K., Sindar R., Compressive deformation and fracture in WC materials. Materials Science and Engineering. A105106, 1988, pp. 299-303.
- 3 Martimer P., Nicholas M., Crispin R., The compatibility of carbon with copper alloys containing chromium, titanium or vanadium. Carbon Fibers. Their place in modern technology. 1974, 43, pp. 101-104.
- 4 Jonson H., Wear of cemented carbide bits during percussing drilling in magnetite-rich core. Pranssee Berichte fur Pulver Metal, 1976, 2, pp. 108-134.

- 5 Mounlong L., Xiaoying H.D., Shitian D., et al. Diffraction – contrast study of microstructure and deformation process of WC-Co cemented carbide. *Inter.Journal Refractory Materials & Hard Materials*, 1983, 2, Nº. 3, pp. 121-132.
- 6 Johanson B.J., Warren R., Subcritical crack growth and plastic deformation in the fracture of hard materials. *Material Science Engin, A.*, 1988, 105/106, pp. 353-361.
- 7 Fand Z.Z., Griffo A., White B., et al, Fracture resistant super hard materials and hard metals composite with functionally designer microstructure. *International Journal Refractory & Hard Materials*, 2001, 19, pp. 453-459.
- 8 Bobrovnitchii G.S., Rodrigues M.F., Filgueira M., Estudo da sinterização rápida do metal duro a 5GPa. In: 59th Annual International Congress of ABM-2004, São Paulo, V.1, pp. 2959-2968.
- 9 Rodrigues M.F., Bobrovnitchii G.S., Ronaldo H.M., Filgueira M., Pressure assisted WC-15%Co. Sintering. *Processing of PTECH-2005*, V.1, pp. 570-576.
- 10 Scott P., Nicholas M., Dewar R., The wetting and bonding diamonds by copper base binary alloys. *Journal Materials Science*, 1975, 10, NII, pp. 1883-1840.
- 11 Duan L.C., Liu X.Y., Mao B.S., K.H. Yang, Tang F.L., Research on diamond-enhanced tungsten carbide composite button bits, *Journal of Materials Processing Technology*. 2002, 129 , pp. 395-398.
- 12 Dan Belnap, Anthony Griffo, Homogeneous and structured PCD/WC-Co materials for drilling, *Diamond and Related Materials*. 2004,13, pp.1914-1922.
- 13 Simkin E.S., Estudo da interação do diamante com cobalto sob alta pressão, *Journal Superhard Materials*.1979, Nº2, pp.11-14.
- 14 Botchkosvsky A.M., Os cortadores diamantados para ferramentas de perfuração. In: Ferramenta para industria metal-mecânica e perfuração de poços –técnica e tecnologia da sua fabricação e aplicações: Coletania das obras do ISM da AN da Ucrânia, 2005, pp.55-57.
- 15 Bogdanov R.K., Shulzhenko A.A., et al, O material novo superduro em ferramenta da perfuração de poços. *Journal Superhard Materials*, 2007, Nº. 1, pp. 73-82.
- 16 Bulgakov V.I.,Pozchniakov A.A., A influência da alta pressão sobre a fixação do grão de diamante na matriz. In: Coletânea das obras do IFVD, Troitzk, Moscou, 2004, NºII, pp. 154-157.
- 17 1Propriedades superficiais de fusão e corpus sólidos e sua utilização na ciência dos materiais. Ed. By Naiditch Ya.V. Ed. Naukova Dumka, Kiev, 1991, p. 280 (em russo).
- 18 Ramalho, A M. Metodologia para Seleção de Materiais e Tecnologia de Fabricação das Cápsulas Deformáveis Utilizadas no Processo de Síntese/Sinterização dos Materiais Superduros”. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2005. pp.126