

PRIMEIROS DEZ MIL QUILATES DE DIAMANTES PRODUZIDOS NO BRASIL: PARTICULARIDADES DA TECNOLOGIA NACIONAL DESENVOLVIDA ⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovnitchii⁽²⁾

Ana Lúcia D. Skury⁽³⁾

Alan Monteiro Ramalho⁽⁴⁾

William da Silva Vianna⁽⁵⁾

Sergio Neves Monteiro⁽⁶⁾

Resumo

Atualmente os diamantes industriais são produzidos em somente 16 países. Embora seja notória a influência deste material sobre o desenvolvimento de qualquer país, no Brasil ainda não existe a produção de diamantes em escala industrial e, portanto, a demanda interna é dependente da importação deste material. Na busca pela implantação da produção industrial de diamantes, a UENF foi a segunda instituição do Brasil a realizar pesquisas nesta área. A partir dos resultados das pesquisas, básica e aplicada, foi desenvolvida a tecnologia experimental para obtenção de pó de diamante com granulometria de até 400 μm . Esta tecnologia possui suas particularidades, tais como produção por operação de 27 ± 3 quilates de diamantes, componentes da síntese produzidos a partir de matéria-prima nacional, parâmetros tecnológicos para fabricação destes componentes específicos, baixos parâmetros de pressão e temperatura para síntese, economia de tempo e reagentes utilizados na extração e purificação dos diamantes, entre outras. Como resultado das atividades científicas e tecnológicas foram produzidos 10.000 quilates de diamantes. Isso mais uma vez demonstra a capacidade dos cientistas brasileiros em obter significativos resultados e superar obstáculos.

Palavras-chave: Síntese; Diamante; Alta pressão.

¹ 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia - 25 a 28 de junho de 2005 em Belo Horizonte

² Eng. Mecânico. PhD. Professor Titular LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos dos Goytacazes – RJ. CEP 28025-630. E-mail: guerold@uenf.br

³ Física. DSc. Professora LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos dos Goytacazes – RJ. CEP 28025-630. E-mail: lucia@uenf.br

⁴ Eng. Mecânico. DSc. Técnico de nível superior LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos dos Goytacazes – RJ. CEP 28025-630. E-mail: alan@uenf.br

⁵ MSc. Professor CEFET Campos. Rua Dr. Siqueira 273. Pq. Dom Bosco. Campos dos Goytacazes – RJ. CEP 28030-130. E-mail: wvianna@cefetcampos.br

⁶ Eng. de Materiais. PhD. Professor Titular LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos dos Goytacazes – RJ. CEP 28025-630.

1 INTRODUÇÃO

A produção de diamantes sintéticos está associada à tecnologia desenvolvida na segunda metade do século 20. Desde a primeira síntese, realizada em 1953-1954 (Bundy, et al, 1955, IDAOA, 1999), foi desenvolvida uma ampla gama de processos tecnológicos para produção de diamantes sintéticos e materiais compósitos a base de diamantes. A produção mundial de diamantes sintéticos nos últimos anos pode ser avaliada em mais de um bilhão de quilates por ano (Dwers, 2000), sendo que dois terços da produção corresponde a apenas cinco países – EUA, Irlanda Rússia, Ucrânia, Japão e África do Sul. Hoje o mercado mundial de diamantes e ferramentas diamantadas sofre grande pressão causada pela expansão das indústrias que produzem diamantes na China, Coreia do Sul e Taiwan. No início da industrialização dos diamantes sintéticos, em 1963, o preço médio era de 11 U\$/qt e em 1999 caiu para 0,6 a 0,7 U\$/qt. Essa tendência de queda dos preços, bem como o aumento da produção por ano de 2 a 2,5 %, acompanhado pela diversificação dos tipos de diamantes e especialização das ferramentas diamantadas, certamente vai continuar nos próximos anos. O crescimento do consumo (Dwers, 2000) de diamantes sintéticos em nível mundial está principalmente relacionado com a ampliação das atividades nas áreas da construção civil, processamento de rochas e perfuração de poços de petróleo e gás.

O Brasil, mesmo não sendo produtor deste material, vem acompanhando este crescimento mundial do consumo de diamantes sintéticos, importando-os em quantidades significativas. Por exemplo, na região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, foram implantados, na década de 80, novos setores de atividade econômica que operam com elevado consumo de ferramentas à base de materiais superduros, sobretudo diamantes sintéticos. Dentre estes setores, destaca-se a indústria petrolífera, construção civil e a indústria de pedras ornamentais (Pinto, 1987, Maciel, 1998).

A base técnica para a síntese de diamantes – prensa e dispositivos de alta pressão – é hoje desenvolvida e especificamente detalhada para cada tipo de tecnologia de síntese. Entretanto, o enorme volume do mercado de diamantes e a grande concorrência, estimulam o aperfeiçoamento dos processos tecnológicos tendo em vista a independência industrial. O resultado é o aumento da produtividade e da qualidade, bem como a diminuição dos custos de processo que, por sua vez, geram a necessidade de proteção dos resultados na forma de patentes (IDAOA, 1999).

A partir de 1997 foram iniciados na UENF estudos que permitiram, em 2001, iniciar a nacionalização da tecnologia de fabricação do pó de diamante (Bobrovnichii & Skury, 2000, Bobrovnichii, et al, 2001). Com base nestes estudos foi completamente desenvolvida a tecnologia experimental para obtenção de pó de diamante com granulometria até 400 μm , os quais exibem propriedades semelhantes às marcas RVG e, em parte, MBG produzidos pela General Electric Company (GE). O processo elaborado possibilitou, durante um ano e meio da vigência do projeto da FAPERJ, obter 10.000 quilates. Uma parte destes diamantes foi utilizada em pesquisas relacionadas com obtenção de materiais policristalinos diamantados (Azevedo, 2001) e em algumas ferramentas de corte. Oficialmente a tecnologia experimental foi apresentada para o público na feira de negócios TOP Norte em 2004 organizada pelo SEBRAE-RJ (Boletim FAPERJ, 15/05/2004).

Conforme já mencionado, no Brasil a totalidade dos diamantes sintéticos é importada e destina-se a ferramentas diamantadas. A quantidade de diamantes brutos importados é pequena, inferior aquela que já vem embutida nas ferramentas

importadas como brocas, serras, discos, rebolos, etc. Devido à rápida expansão do uso das ferramentas no Brasil, sobretudo nas áreas da exploração de petróleo, construção civil, pedras ornamentais e indústria automobilística é importante que as pesquisas de cunho tecnológico sejam incentivadas de forma a possibilitar a produção interna de diamantes sintéticos e também das ferramentas diamantadas.

Caso isto não ocorra, haverá uma tendência do Brasil pagar cada vez mais por produtos importados contendo diamantes com alto valor embutido. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é mostrar o potencial brasileiro, particularmente da UENF, em pesquisas aplicadas à tecnologia, assim como demonstrar as possibilidades para o desenvolvimento da indústria nacional para produção de materiais superduros.

2 DESCRIÇÃO GERAL DA TECNOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE DIAMANTES SINTÉTICOS

A obtenção de pó de diamante exige a combinação das técnicas de alta pressão e temperatura e das tecnologias acessórias correspondentes. Em relação às técnicas de alta pressão os principais componentes são: prensa hidráulica especial e dispositivo de alta pressão (DAP) capazes de gerar as altas pressões até 8 GPa e suportar temperaturas até 1800 °C. A força da prensa pode chegar a 5000 toneladas do volume aumentado da câmara de compressão dos DAP. Estes dispositivos industriais podem ser encontrados em três diferentes configurações: cilíndrica (Belt), multipistões e bigornas com concavidades variáveis.

Cada tecnologia de síntese é diretamente dependente do tipo de prensa, tipo de dispositivo e, além de outros aspectos, da matéria-prima utilizada, constituindo assim o “Know how” da tecnologia, cujas particularidades nem sempre são divulgadas. As tecnologias acessórias que compõem a tecnologia geral estão relacionadas com a fabricação dos componentes da síntese ou controle do processo:

- Preparação da mistura para cápsula deformável e discos de proteção;
- Compactação da cápsula com determinadas dimensões;
- Compactação dos discos de proteção;
- Tratamento prévio da grafite;
- Preparação da liga solvente-catalisadora;
- Mistura da liga com grafite;
- Fabricação dos cilindros aquecedores de grafite;
- Compactação da mistura liga-grafite e posterior instalação do compacto no interior da cápsula;
- Montagem da cápsula deformável com outros componentes;
- Preparação do dispositivo de alta pressão;
- Instalação da cápsula montada dentro do dispositivo de alta pressão;
- Realização da síntese com parâmetros pré-definidos de P e T durante tempo pré-determinado;
- Trituração do aglomerado obtido durante a síntese;
- Extração dos diamantes a partir de partículas do aglomerado e purificação final;
- Classificação e testes dos diamantes obtidos;

Fora desta lista estão os aspectos de controle que incluem a calibração do conjunto “prensa-DAP-cápsula” em relação à pressão e temperaturas na câmara de compressão do DAP e registro de dados do processo.

Como pode ser observado, para desenvolver a tecnologia é necessário realizar muitos estudos, iniciando com a matéria-prima e finalizando com os parâmetros de processamento.

A escolha do tipo e força da prensa, seu sistema de comando e controle, construção do DAP, busca do material para cápsula deformável e para os outros componentes da síntese exercem grande influência sobre a produtividade e qualidade dos diamantes a serem produzidos. Como exemplo pode ser citado o trabalho de Santos (Santos, et al, 2000), onde são apresentadas dificuldades relacionadas com o desenvolvimento das etapas da tecnologia de obtenção do pó de diamante onde foram utilizadas prensas de baixa capacidade.

3 TECNOLOGIA EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE DIAMANTES COM GRANULOMETRIA ATÉ 400 μM DESENVOLVIDA NA UENF

3.1 Materiais, Matrizes e Equipamentos Utilizados

- Grafite em pó com granulometria de 40 até 200 μm fornecido pela empresa UNIMETAL;
- Grafite em barra com diâmetro de 10mm;
- Liga solvente-catalisadora em forma de cavacos com tamanho médio de 0,3x0,5x1,0mm à base de Mn-Ni com teor do Mn(48-50)% e Ni(52-50)%; feito na USP;
- Calcita de Itaperuna com granulometria 120 até 1000 μm ;
- Filito em pó com granulometria 40 até 200 μm (Matheus Leme Ltda);
- Álcool polivinílico;
- PVC amorfo;
- Fio de Bi com diâmetro 0,5 mm;
- Partículas de SePb com tamanho de 0,3-0,5 mm;
- Termopar cromel-alumel (tipo K) com diâmetro 0,3 mm;
- Tubo de alumina com diâmetro 0,4x1,5 mm;
- Matriz para compactação das cápsulas deformáveis;
- Matriz para compactação dos discos de proteção;
- Molde para compactação das misturas reativas com posterior transferência dos compactos para o interior da cápsula deformável;
- Dispositivo de alta pressão com concavidade central de diâmetro 55 mm e altura de 9,5 mm cuja construção é apresentada na figura 1.
- Prensa hidráulica especial com força de 2500 toneladas, modelo D0044 (empresa RayzanTyazhPressMash, Rússia) destinada para funcionar com o DAP listado no item anterior.
- Prensa hidráulica com força de 100 toneladas para compactação das cápsulas;
- Prensa hidráulica com força de 20 toneladas para compactação de outros componentes;
- Triturador;
- Misturador;
- Moinho;
- Mesa vibratória com tamanho 600x800mm;
- Friatester dinâmico

3.2 Metodologia Empregada

Para a fabricação da cápsula deformável foi utilizado pó de filito granulado com tamanho de partícula até 1mm e álcool polivinílico. A pressão de compactação foi de 485 ± 5 MPa. Após a compactação as cápsulas foram secas em temperaturas entre 120 e 160 °C. O mesmo procedimento foi empregado para as tampas isolantes de calcita, sendo que como ligante foi utilizado NaCl.

A mistura reativa foi preparada com composição de $52 \pm 1\%$ de liga e $48 \pm 1\%$ de grafite, sendo a mesma compactada na prensa de 20 toneladas com pressão de compactação de 300 MPa. Após a compactação a mistura é então transferida para o interior da cápsula permanecendo em posição simétrica em relação às bordas. Ao final destes procedimentos foram produzidas 520 cápsulas já prontas para execução do processo de síntese.

O passo seguinte consistiu na calibração do DAP. Foram realizadas as calibrações de pressão (Bi e SePb) e temperatura (cromel-alumel). Com base nos resultados foram construídas as curvas de calibração de $P_2=f(P_1)$ e $T=f(I)$.

A síntese dos diamantes foi realizada com DAP, apresentado na figura 1 em uma prensa de 2500 toneladas, usando comando computacional que possibilitou manter os parâmetros P e T com elevada precisão. A variação dos parâmetros P e T foi realizada de maneira planejada tendo como base os parâmetros já conhecidos da literatura.

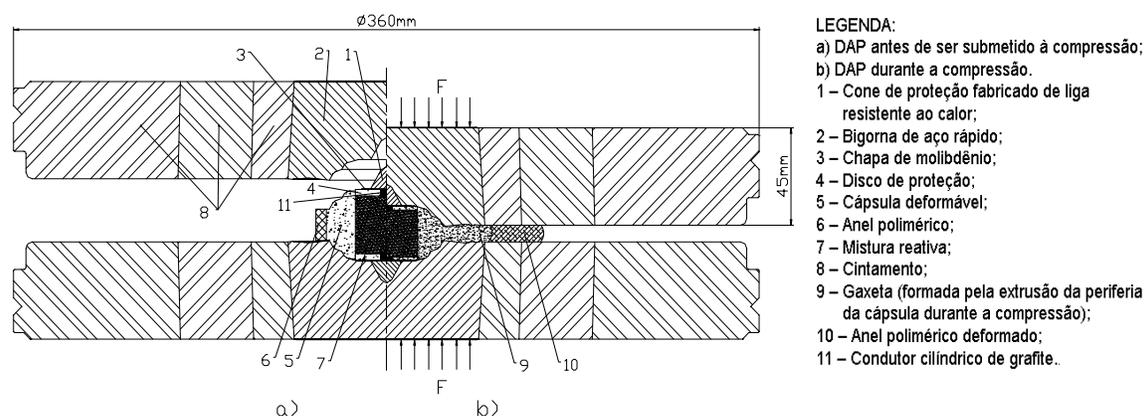


Figura 1. Dispositivo de alta pressão tipo bigorna com concavidades central utilizado no.UENF.

Após a finalização do processo de síntese, as cápsulas deformadas foram retiradas manualmente do DAP. Em seguida, foi realizada a trituração do aglomerado até a obtenção de tamanhos de partícula entre 1,5 e 2 mm. Este tamanho de partícula garante a integridade dos cristais de diamantes presentes no interior do aglomerado em conjunto com metal, carbetos e grafite não transformada.

Para extração dos diamantes presentes nos aglomerados foram feitos ataques químicos utilizando a seguinte seqüência:

- Oxidação seletiva da grafite e liga metálica usando dicromato de potássio e ácido sulfúrico em proporção pré-estabelecida.
- A mistura obtida foi agitada e aquecida com a adição alternada dos reagentes complementares e água;
- Após adição de água, foi feita filtração das soluções obtidas;
- Lavagem do resíduo com água seguida por secagem e purificação final através de ácido clorídrico.

3.3 Particularidades da Tecnologia Experimental Desenvolvida

Como já mencionado, a UENF adquiriu uma prensa de 2500 toneladas. Esta prensa foi projetada para produção industrial dos materiais superduros, inclusive diamante em pó. Algumas características da prensa como altura e largura do espaço de trabalho, mecanização e comando, não possibilitaram realizar pesquisas científicas com outros dispositivos além da bigorna com concavidade central (ver figura 1). Por outro lado, o sistema de comando da prensa não possibilitava a realização de pesquisas ligadas à influência precisa das matérias-primas e parâmetros P, T sobre o processo da síntese de diamantes. Com a modernização feita no ano de 2003, foi possível estudar a maioria das particularidades do processo de síntese.

Foi observado que nem todas as grafites nacionais servem para realização da síntese (Skury 2001) e não existiam no Brasil grafites que possam ser diretamente utilizados para obtenção de diamantes sintéticos. Por este motivo foi identificada a necessidade de criar as condições necessárias para grafitização da grafite nacional (Skury 2001, Nunes, 2004, Mendonça, 2004). Esta exigência foi implantada na tecnologia experimental através do pré-aquecimento em intervalo de 650 a 750 °C sob pressão de trabalho durante 2 minutos.

A influência das dimensões e dos materiais da tampa isolante levou a um aumento da espessura para 3 mm com alteração do material para calcita sinterizada com NaCl (Abreu, 2003).

Outro fato descoberto foi que a massa inicial da mistura reativa ocasiona grande influência sobre o rendimento do processo de síntese, conforme pode ser observado na figura 2. Os limites da massa não podem superar $\pm 0,2\text{g}$ (Skury, 2003).

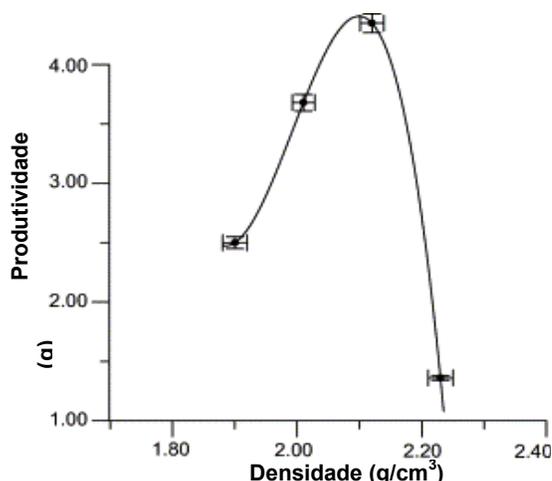


Figura 2. Variação da produtividade em função da densidade calculada da mistura reativa (adaptado de Skury et al, 2003).

O regime de aquecimento do DAP durante o processo de produção dos diamantes também influencia sobre o rendimento e morfologia dos diamantes. Foi determinado que é necessário manter a temperatura da bigorna em torno de 58 a 65 °C antes da instalação do mesmo no interior da prensa (Abreu, 2001).

Os parâmetros elétricos de aquecimento influenciam sobre a morfologia dos diamantes obtidos (Vianna, 2001). Foi observado que altos valores de corrente elétrica causam eletro-erosão não controlada da superfície da bigorna e provocam grafitização da parte central da mistura reativa (Bobrovnichii, et al, 2001).

Foi notado que o material da cápsula deformada sofre carbonização, formando uma camada de passagem da corrente elétrica (Bobrovnitchii, et al, 2001). Isto influencia sobre o rendimento e por este motivo é melhor reduzir o tempo de síntese para 10 minutos.

A partir da aplicação de novos reagentes na extração e purificação dos diamantes, as propriedades físicas e mecânicas dos cristais podem ser melhoradas. Foi determinado que a fusão alcalina é um dos métodos mais eficazes e ambientalmente corretos para serem aplicados nesse processo (Skury, et al, 2004, Skury, 1997).

Resumindo, comparando a tecnologia desenvolvida na UENF com a tecnologia estrangeira, além de ser possível a sua utilização industrial, esta possui particularidades que não são encontradas em outras tecnologias industriais (Bobrovnitchii, et al, 1999).

Vale a pena ressaltar também que durante a realização das pesquisas foram formados vários especialistas brasileiros aptos para trabalharem na produção de materiais superduros, principalmente dos diamantes sintéticos.

4 CONCLUSÕES

Nos resultados dos trabalhos científicos realizados na UENF, foi desenvolvida a tecnologia experimental da obtenção de pó de diamante com granulometria até 415 μm com propriedades necessárias para o emprego em ferramentas. Durante este processo foram obtidos 10.000 quilates de diamante. Algumas etapas da tecnologia desenvolvida têm potencialidade para gerar patentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERJ pelo apoio dado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BUNDY, F. P., HALL H. T., STRONG H. M. AND WENTORF R. H. Man made diamonds. Nature, n. 176, p. 51-55, 1955.
- 2 Industrial Diamond Association of America. INFO_MEMO, 10 99, October 11, 1999.
- 3 DWERS, C. Industrial diamond: application, economics and a view to the future. IDR, n. 3, p. 176-182, 2000.
- 4 PINTO, J. R. P. Um pedaço de terra chamado Campos, Almeida Artes Gráficas, p. 86-103, 1987.
- 5 MACIEL, M. F. Caracterização das pastilhas de diamante policristalino aplicadas em brocas de perfuração. Dissertação de Mestrado LAMAV/CCT/UENF , Campos dos Goytacazes, 1998.
- 6 BUCH, J. V., DISMUKES, J. P. Applications of diamonds films and related materials. Elsevier Science Publishers, p. 623, 1991.
- 7 Jornada, J. Produção de Materiais Avançados por altas pressões. Boletim da SBF, p. 46-49, 1987.
- 8 BOBROVNITCHII, G. S, SKURY, A. L. D. Algumas considerações sobre a produção mundial de materiais superduros. Anais do 55º Congresso da ABM Rio de Janeiro, p. 1522-1531, 2000.
- 9 BOBROVNITCHII, G. S, et al. Tendência do desenvolvimento das tecnologias de produção dos materiais superduros no Brasil. Anais do 56º Congresso da ABM, Belo Horizonte, p. 50-59, 2001.

- 10 SANTOS, S. I., CASANOVA, C. A. M., KINDLEIN, W., SUSSO, M., NOVIKOV, N., JORNADA, J. A. M. Síntese de diamantes em alta pressão e perspectivas de produção no Brasil. Anais do 14^o CBECMAT, São Pedro, São Paulo, p. 11101-11113, 2000.
- 11 SILVIA, C. L. J. RAMALHO, A. M. Avaliação do comportamento da resistência elétrica de diferentes tipos de grafite tratados em altas pressões. Anais do 59^o Congresso da ABM, São Paulo, p. 1845-1853, 2004.
- 12 NUNES, E. N. Estudo do processo de recristalização do grafite e a sua relação com o processo da síntese de diamantes no sistema Ni-Mn-C. Anais do 59^o Congresso da ABM, São Paulo, p. 1040-1045, 2004.
- 13 MENDONÇA, F. A. C. N. Influência da célula de reação sobre o rendimento do processo da síntese de diamantes no sistema Ni-Mn-c nas altas pressões e temperaturas. Anais do 59^o Congresso da ABM, São Paulo, p. 1046-1052, 2004.
- 14 ABREU, A. M. Simulação da temperatura no dispositivo de alta pressão usado para obtenção de diamantes sintéticos. Anais do 58^o Congresso ABM, p. 2701-2709, 2003.
- 15 SKURY, A. L. D. Influência da massa da mistura reativa sobre o rendimento do processo de síntese de diamante. Congresso em Ciência dos Materiais do Mercosul, p. 72-81, 2002.
- 16 ABREU, A. Estudo por simulação computacional e experimental da distribuição da temperatura na célula reativa composta de camadas alternadas de grafite metal solvente durante a síntese dos diamantes. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, UENF, Campos dos Goytacazes, 2001.
- 17 VIANNA, W. S. Estudo da influência da variação dos parâmetros elétricos sobre a produtividade do processo de síntese de diamantes em pó. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2001.
- 18 BOBROVNITCHII, G. S., VIANNA, W. S., MONTEIRO, S. N. Monitoring of diamond synthesis by changes in the heating electric current. Journal of Superhard Materials. v. 5(133), p. 9-15, 2001.
- 19 BOBROVNITCHII, G. S., SKURY, A. L. D., RAMALHO, A. M. Desenvolvimento da obtenção dos materiais superduros na Universidade Estadual do Norte Fluminense. Encontro sobre Diamantes, Carbono amorfo, carbetos de silício e Nitretos. PUC-Rio. 24-25 de novembro de 1999, p. 3.
- 20 SKURY, A. L. D., BOBROVNITCHII, G. S., AZEVEDO M. A. A. Study of the relationship between the morphological composition and the strength of the grains of synthetic diamond. Proceedings of INTERTECH-2000, International Technical Conference on Diamond, Cubic Nitride and Their Applications, July 17-21, Vancouver, Canada, 2000.
- 21 SKURY, A. L. D. Investigação do processo de purificação de diamantes sintéticos por fusão alcalina. Dissertação de mestrado. UENF. Campos dos Goytacazes – RJ, 1997.
- 22 Boletim FAPERJ, UENF lança tecnologia para síntese de diamantes, Jun. 2004. Disponível em http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=1138 Acesso em 16/02/2004.
- 23 Márcia Giardinieri de Azevedo, Andrei Potemkin, Ana Lúcia D. Skury and Ronaldo Nogueira de Azevedo Faria, Jr. The high temperature–high pressure sintering of diamond–Cu–Si–B composite. *Diamond and Related Materials*, v.10, n. 9-10, p. 1607-1611 September-October 2001

FIRST TEN THOUSAND CARATS OF DIAMONDS PRODUCED IN BRAZIL: PARTICULARITIES OF THE DEVELOPED NATIONAL TECHNOLOGY ⁽¹⁾

Guerold S. Bobrovitchii⁽²⁾
Ana Lúcia D. Skury⁽³⁾
Alan Monteiro Ramalho⁽⁴⁾
William of Silva Vianna⁽⁵⁾
Sérgio Neves Monteiro⁽⁶⁾

Abstract

Now the industrial diamonds are produced at 16 countries. This material generates considerable influence on the development of the countries. Brazil doesn't produce diamonds synthetic in the industry. All amount of consumed diamonds is imported. The UENF, second institution of Brazil that acts in the area of the high pressures, developed the experimental technology for obtaining of diamond powder with size of up to 415 nm. In the result of the scientific and technological activities 10.000 carats of diamonds were produced. That once again demonstrates the Brazilian scientists possibilities. The developed technology possesses its own particularities: production for operation of 27 ±3 carats of diamonds, national materials for components of the synthesis, technological parameters for production of these components, low pressure parameters and temperature for synthesis, economy of chemical products and time in the extraction and purification of the diamonds.

Key-words: Synthesis; Diamond; High pressure.

¹ 60^o Annual Congress of the Brazilian Association of Metallurgy - 25 to June 28, 2005 in Belo Horizonte

² Eng. Mechanic. PhD. Titular Teacher LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos of Goytacazes - RJ. ZIP CODE 28025-630. E-mail: guerold@uenf.br

³ Physics. DSc. Teacher LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos of Goytacazes - RJ. ZIP CODE 28025-630. E-mail: lucia@uenf.br

⁴ Eng. Mechanic. DSc. Technician of Superior Level LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos of Goytacazes - RJ. ZIP CODE 28025-630. E-mail: alan@uenf.br

⁵ MSc. Teacher CEFET Campos. Street Dr. Siqueira 273. Pq. Dom Bosco. Campos of Goytacazes - RJ. ZIP CODE 28030-130. E-mail: wvianna@cefetcampos.br

⁶ Eng. of Materials. PhD. Titular Teacher LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000. Horto. Campos of Goytacazes - RJ. ZIP CODE 28025-630.