

BROCAS ANELARES DE DIAMANTE CVD – APLICAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE VIDRO BORO-SILICATO – ANÁLISE DOS RESULTADOS

CVD-diamond ring core bit – Application for holing boron-silicate glass

Marcelo Gozeloto^{1,3}; Vladimir J. Trava-Airoldi²; Evaldo J. Corat²; João Roberto Moro¹

1, Laboratório de Diamantes e Materiais Relacionados. Universidade São Francisco – Campus Itatiba

2, Laboratório de Sensores e Materiais Relacionados. INPE, São José dos Campos.

3, Escola SENAI "Luiz Scavone" – Itatiba

Key words: Diamante CVD, ferramentas de corte; brocas anelares usinagem de vidro.

Abstract

The technology for growing CVD-diamond layers has been used for fabrication of special cutting tools, applied for machining difficult materials, as boron-silicate-glass. The CVD-diamond ring core bit is an example. This tool is composed for a molybdenum ring, covered with CVD-diamond, growth through hot filament assistance technique. Experiments show that the CVD ring core bit has better technique results, when compared with the commercial HPHT diamond ring core bit, as a minor operational noise and holes machined without defects around its edges

Resumo

A tecnologia de crescimento de filmes de diamante CVD tem sido usada para a fabricação de ferramentas de corte especiais, aplicadas para usinagem de materiais difíceis, como o vidro boro-silicato. A broca anelar de diamante CVD é um exemplo desse tipo de ferramenta. Essa ferramenta é composta por um anel de molibdênio recoberto com diamante CVD, crescido através da técnica assistida por filamento quente. Experimentos mostraram que as brocas anelares de diamante CVD possuem melhores resultados técnicos de operação, quando comparadas com as brocas anelares comerciais, fabricadas com o diamante HPHT, como menor ruído operacional e furos obtidos sem defeitos em suas bordas.

1. Introdução

A tecnologia de crescimento de diamante CVD, como uma tecnologia emergente, possui um rol de propriedades superiores, o que possibilita um amplo campo de aplicações, tais como a preparação de superfícies resistentes à abrasão, dispositivos térmicos, ópticos e ainda, a aplicação para a fabricação de ferramentas de corte.^[1]

Pelo fato de o diamante CVD possuir a propriedade de ser crescido como um filme sobre superfícies de diferentes materiais, com formas geométricas diversas, torna-se possível a fabricação de ferramentas de corte especiais, como as brocas anelares de diamante CVD.^[2]

As brocas anelares diamantadas convencionais, fabricadas com o diamante HPHT, (high pressure, high temperature), são ferramentas utilizadas para a usinagem de vidro, dentre os quais o vidro boro-silicato. A broca anelar de diamante CVD é uma adaptação tecnológica dessas brocas. Para o caso das brocas anelares de diamante CVD, o elemento de corte adotado é o filme de diamante policristalino crescido sobre a superfície circular do substrato, deno-

minado anel abrasivo, quando referido ao tipo de ferramenta de corte broca anelar.

2. A broca anelar de diamante CVD

Os primeiros estudos no Brasil para a construção de brocas anelares de diamante CVD ocorreram nos anos 90 e estes foram orientados para a fabricação de ferramentas aplicadas para a odontologia.^[3-5] Depois, alguns estudos foram realizados para se fabricar uma ferramenta capaz de usinar (perfurar) placas de vidro boro-silicato com resultados técnicos satisfatórios.^[6]

A típica broca anelar de diamante CVD é o resultado da junção de duas partes: a) a primeira o anel fabricado em molibdênio, recoberto com diamante CVD em torno de sua periferia e topo e b) o corpo ou suporte metálico, sobre o qual é fixado o anel de molibdênio. A junção das duas partes é feita pela aplicação de adesivo, resistente a esforços mecânicos e agentes químicos.

A fotografia da figura 01 mostra o anel de molibdênio recoberto com diamante CVD utilizado para a construção das brocas anelares, utilizadas neste trabalho.

O suporte metálico usado para a fixação do anel de molibdênio é fabricado com aço ABNT 1020. A fotografia da figura 02 mostra o suporte metálico já usinado e pronto para utilização.

A fotografia da figura 03 mostra uma típica broca anelar de diamante CVD, acabada, pronta para realizar a operação de perfuração de placas de vidro boro-silicato.

As características dimensionais das brocas anelares de diamante CVD apresentadas neste artigo são como segue:

a-) Diâmetro externo do anel:	7,0mm
b-) Diâmetro interno do anel:	4,0mm
c-) Altura do anel:	5,0mm
d-) Comprimento total:	50,0mm

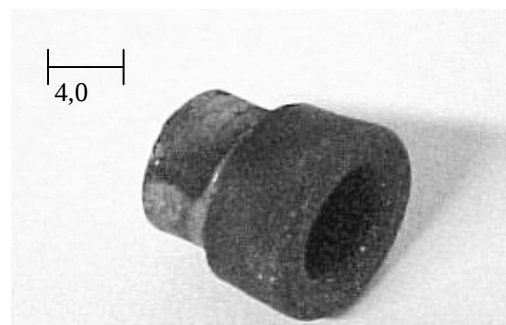


Figura 1 - O anel de molibdênio.

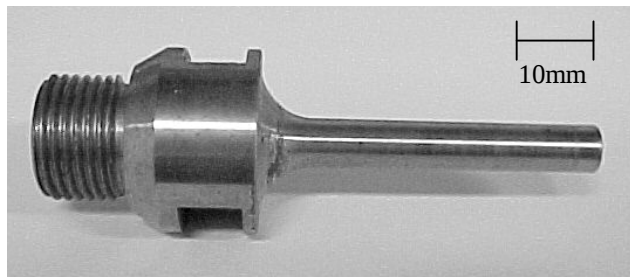


Figura 2 - Suporte metálico



Figura 3 - Típica broca anelar de diamante CVD

Os filmes de diamante crescidos sobre as superfícies dos anéis de molibdênio obtiveram espessuras entre 75µm a 45µm. A maior concentração ocorreu sobre o topo do anel e imediatamente após essa região, até aproximadamente 2,0mm de distância do topo, ao redor dos diâmetros externos desses anéis. Os filmes de diamante foram obtidos pelo emprego da técnica de crescimento HFCVD – “*hot filament chemical vapor deposition*”. Os parâmetros utilizados para a realização dos crescimentos dos filmes de diamante basearam-se em experiências anteriores [6-8], mostrados na tabela 01 e foram realizados pelos pesquisadores do laboratório de diamante e materiais relacionados do campus de Itatiba da Universidade São Francisco e Laboratório Associado de Sensores e Materiais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Na figura 04 temos uma fotografia do reator assistido por filamento quente, utilizado para o crescimento do filme de diamante nos anéis de molibdênio, integrantes das brocas anelares. A pressão no reator foi mantida por uma bomba de vácuo tipo EM5 da Edwards, o fluxo gasoso (H₂ e CH₄) foi controlado por Mass flow controller da MKS Instruments. A potência elétrica nos filamentos quentes foi mantida por uma fonte FA 5040 da Suplítec. O controle da pressão foi feito através de um medidor Baratron®, da MKS Instruments. A temperatura foi medida por um termopar de cromel-alumel.

3. Experimental

Foi realizada uma simulação industrial, onde as brocas anelares de diamante CVD foram aplicadas segundo con-

dições reais a que são submetidas às brocas anelares comerciais, fabricadas com o diamante HPHT. Utilizamos o equipamento modelo DADO®1078, fabricado pela empresa italiana FORVET®, que já é empregado para a realização de operações de perfurações em placas e objetos de vidro com brocas anelares de diamante HPHT.

Tabela 1. Parâmetros de crescimento do diamante CVD

Parâmetro	Valor
1. Pressão no reator	50 Torr.
2. Temperatura do substrato	800 °C
3. Fluxo de hidrogênio	65 sccm
4. Fluxo de metano	1,30 sccm
5. Corrente no filamento	6,5A
6. Distância entre o filamento e substrato	2mm
7. Tempo de crescimento	50h

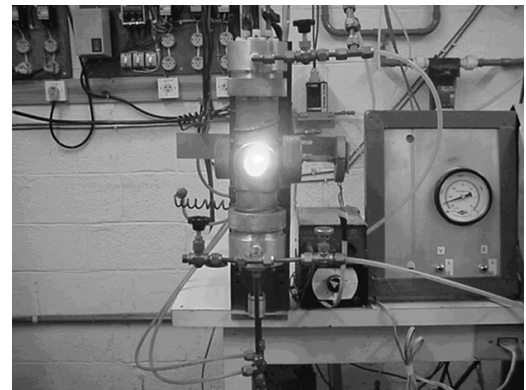


Figura 4 - Reator assistido por filamento quente em funcionamento, utilizado para o crescimento de brocas anelares

Para a realização dessa simulação utilizamos sete brocas anelares revestidas com diamante CVD e sete brocas anelares fabricadas com o diamante HPHT para cada modelo desse tipo de broca, conforme nomenclatura dada na tabela 03. Foram avaliados os critérios: a) qualidade do processo de perfuração, b) nível de ruído, c) tempo operacional e d) vida útil.

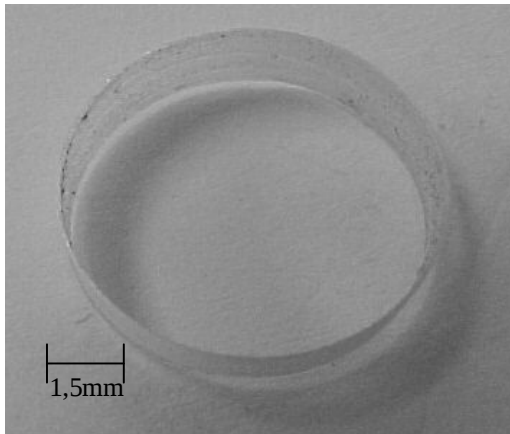
Os parâmetros de processos adotados para a realização dos testes de aplicação das brocas anelares de diamante CVD e conseqüente comparação de resultados de aplicação das brocas anelares de diamante HPHT estão contidos na tabela 02 e estão em função dos valores empregados para as brocas anelares de diamante HPHT.

A fotografia da figura 05, mostra a perfuração de uma placa de vidro com uma broca anelar de diamante CVD onde não se observa a formação do “efeito borboleta”.

Tabela 2. - Definição de parâmetros de corte utilizados para as brocas anelares de diamante CVD

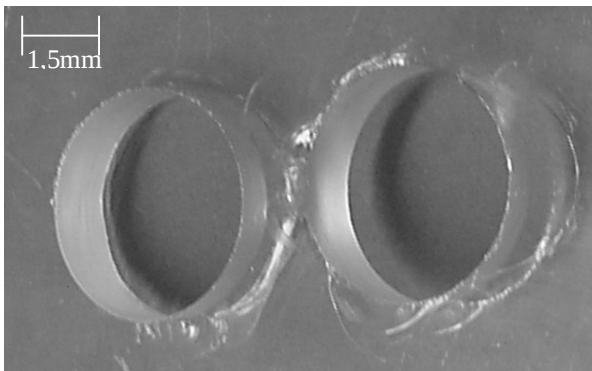
Parâmetro	Valor
1. Pressão de corte	15,5 kgf/cm ²
2. Rotação da ferramenta	2000 revoluções / minuto
3. Vazão de refrigerante	1 litro / min

Qualidade do processo de perfuração

**Fig. 05 - Fotografia de um furo em vidro boro-silicato com broca anelar de diamante CVD. Notamos claramente que não houve o “efeito borboleta”.**

“Efeito borboleta” é o nome comum no meio industrial, pelo qual se designa a ruptura das bordas do furo executado sobre placas de vidro, decorrente do processo de perfuração com o emprego de brocas anelares de diamante HPHT como elemento de corte.

A fotografia da figura 06 mostra a perfuração de uma placa de vidro boro-silicato onde ocorreu o “efeito Borboleta”. Esta perfuração foi realizada utilizando-se um modelo de broca anelar de diamante HPHT liga E.

**Figura 6- Fotografia de dois furos realizados com broca anelar de diamante HPHT. Observamos nitidamente o “efeito borboleta”.**

O “efeito borboleta”, ora mencionado, ocorreu com a utilização de todas as brocas anelares de diamante HPHT apresentadas nesse trabalho, conforme designado na tabela 03, que apresenta cinco modelos diferentes de brocas anelares

de diamante HPHT, classificadas de acordo com os elementos metálicos associados ao processo de fabricação da parte anelar dessa ferramenta.

Nível de ruído

Devido ao fato de a legislação trabalhista considerar aspectos que envolvem a saúde e segurança operacional [9], o nível de ruído que uma ferramenta de corte produz quando em operação, é considerado como fator de escolha de uma ferramenta de corte influenciando, portanto, na sua escolha.

A tabela 03 compara os valores dos níveis de ruído obtidos em decibéis, com o emprego das brocas anelares de diamante CVD e de diversas brocas anelares de diamante HPHT, durante a realização da operação de perfuração da placa de vidro boro-silicato.

Tabela 03. - Níveis de ruído (db)

Broca anelar	Média	Desvio Padrão	Amplitude
CVD	75	0,9	03
HPHT liga A	82	0,9	03
HPHT liga B	81	0,5	01
HPHT liga C	83	0,5	01
HPHT liga D	82	0,8	02
HPHT liga E	83	1,2	04

Tempo operacional

O tempo necessário para que as brocas anelares de diamante CVD perfurem uma placa de vidro boro-silicato de espessura de 10mm com diâmetro de 7,0mm está em concordância com os tempos que são obtidos quando são empregadas brocas anelares de diamante HPHT. Para cada modelo de broca apresentado, foram consideradas as médias aritméticas dos tempos de execução de quarenta furos individuais com o emprego de cada modelo de broca.

A tabela 04 mostra os tempos médios para a perfuração de uma placa de vidro boro-silicato com 10mm de espessura.

Tabela 04. – Tempo médio para a perfuração da placa de vidro boro-silicato com 10mm de espessura.

Tipo de broca anelar	Tempo de perfuração
CVD	1min05s
HPHT liga A	1min00s
HPHT liga B	2min10s
HPHT liga C	1min50s
HPHT liga D	1min30s
HPHT liga E	1min50s

Vida útil

As brocas anelares de diamante CVD realizaram um valor médio de quarenta furos com amplitude entre a maior e a menor quantidade de furos realizados correspondente a cinco furos. As brocas anelares de diamante HPHT realizaram um valor médio de quatrocentos e dez furos, com amplitude entre a maior e menor quantidade de furos realizados correspondente a doze furos.

4. Resultados e discussões

A ausência do “efeito borboleta” sobre as bordas dos furos executados é muito interessante sob o ponto de vista técnico e inclusive econômico, pois o dano causado na borda do furo pode inviabilizar a utilização do artefato de vidro perfurado ou tornar necessária a aplicação de outras operações de retrabalho, aumentando, desta forma, os custos de fabricação.

Os níveis de ruído operacionais apresentados pelos dois tipos de brocas anelares mostram que o emprego das brocas anelares de diamante CVD apresenta menor ruído operacional, o que favorece a aplicação dessa ferramenta para a execução de furos sobre superfícies de vidro boro-silicato.

O tempo para a perfuração da placa de vidro boro-silicato, com o emprego das brocas anelares de diamante CVD, condiz com os tempos requeridos quando são empregadas as brocas anelares de diamante HPHT.

A vida útil das brocas anelares de diamante CVD, quantificadas pela quantidade de furos que essas ferramentas podem realizar, mostrou-se com valores muito abaixo dos valores que são obtidos pelas brocas anelares fabricadas com o diamante HPHT.

5. Conclusão

Os experimentos realizados com as brocas anelares de diamante CVD nos mostraram que, com esse tipo de ferramenta é possível obter-se furos realizados em superfícies de placas de vidro boro-silicato, com qualidade superior aos furos obtidos pelo emprego de brocas anelares de diamante HPHT. A exatidão dimensional e tempo para a realização da operação de perfuração mostraram-se satisfatórios.

Entretanto, apesar de os resultados técnicos serem satisfatórios, a grande desvantagem das brocas anelares de diamante CVD é a sua vida útil. Todavia, estudos referentes aos mecanismos de crescimento e aderência do filme de diamante CVD, sobre a superfície de materiais tais como o molibdênio^[10-11], continuam a ser realizados, e destes são

esperados resultados favoráveis que convirjam para o desenvolvimento e aprimoramento das brocas anelares de diamante CVD.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, a Tyrolit do Brasil e ao técnico José Antônio Baptista Formenti.

7. Referências Bibliográficas

1. V. J. Trava-Airoldi, E. V. Corat, J. R. Moro, N. F. Leite And D. Vaniman. “CVD Diamond as a new material and its space application”. International Academy of Astronautics (IAA) .p. 01-09 (2000).
2. M. Gozeloto, V.J Trava-Airoldi, E.J Corat, J.R. Moro. “CVD-Diamond drill for machining glass with fabrication process of low environmental impact”. XXII CBRAVIC-Guaratinguetá-SP Brasil; agosto 2001. Livro de resumos p. 73.
3. V. J. Trava-Airoldi, E. J Corat, E. Bosco, N. F. Leite. “Hot filament scaling-up for CVD diamond burr manufacturing. Surface & coating technology”, p. 76-77 (1995).
4. V. J Trava-Airoldi, E. J. Corat, N. F. Leite, M. C. Nono, N. G. Ferreira, V. Baranauskas. “CVD-diamond burrs – development and application. Diamond and related materials”, p. 857-860. (1996).
5. V. J. Trava-Airoldi, J. R. Moro, E. J. Corat, E. C. Goulart, A. P. Silva, N. F. Leite. “Cylindrical CVD diamond as a high-performance small abrading device. Surface & coatings technology”, p.108-109 (1998).
6. M. Gozeloto, Dissertação de mestrado – “Brocas anelares de diamante CVD”, Universidade São Francisco. Itatiba –SP (2002).
7. V. J. Trava Airoldi, A P. Da Silva, J. R. Moro, E. J. Corat. “Filmes finos de diamante CVD crescidos por deposição química da fase vapor” In.: IV encontro de pesquisadores da Universidade São Francisco -USF, 1996, Bragança Paulista. Livro de resumos do IV EPUSF. Editora USF, 196 v.1.
8. O. K. Fuji. Dissertação de mestrado – “Crescimento de diamante CVD em substrato de molibdênio”. Universidade São Francisco – Itatiba SP (2002) .
9. Decreto-lei 5452/43, CLT – Consolidação das Leis Trabalho, cap. V – Da segurança e medicina do trabalho.
10. J. R. Moro, E. J. Corat, V. J. Trava-Airoldi. “Estudos de crescimento de filmes finos e auto-sustentados de diamante CVD em reator de grande porte”. Projeções, vol. 17 p. 117-120. (1999).
11. Santos, L.V., Trava-Airoldi, V.J., Corat, E.J., Diniz A.V., Moro, J.R., Leite, N.F. Very Adherent CVD Diamond Film on Modified Molybdenum Surface. Diamond and Related Materials, Vol. 11 (3-6) (2002) pp. 532-535.