

Diamantes versáteis

Produto sintético é usado em brocas odontológicas, para perfuração de petróleo no mar e como bactericida

Dinorah Ereno

Uma nova linha de 30 brocas de uso odontológico com pontas recobertas por diamante sintético foi lançada comercialmente em dezembro de 2002 pela empresa Clorovale Diamantes, de São José dos Campos, no interior paulista. A broca trazia como principal novidade o fato de funcionar por vibração a partir de ondas de ultrassom, livrando os pacientes do incômodo ruído do motor das brocas convencionais que operam por rotação ultrarrápida. E a promessa de um tratamento com menos dor, dispensando o uso da anestesia na maioria dos casos. “Por serem mais precisas, essas brocas de diamante não causam traumas desnecessários aos dentes”, disse em 2002 o físico Vladimir Jesus Trava Airoidi, sócio da Clorovale e pioneiro no desenvolvimento de diamante CVD (sigla de *chemical vapor deposition*, ou deposição química na fase vapor) sintético no Brasil.

As pesquisas com diamante sintético, um material de cor escura e sem brilho, foram iniciadas em 1991, quando Airoidi retomou seu trabalho como pesquisador no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) após concluir seu pós-doutorado no Laboratório de Propulsão a Jato da Agência Espacial Norte-Americana (Nasa, na sigla em inglês), em Pasadena, na Califórnia. “Meu propósito era encontrar um projeto na Nasa que tivesse um grande teor científico e ao mesmo tempo um alto teor de aplicação”, relata.

Na época, os estudos de diamantes CVD sintéticos eram muito teóricos, não se tinha ainda a dimensão do que viria a seguir. O que se sabia é que, a exemplo dos diamantes naturais, os sintéticos têm propriedades físicas e químicas equivalentes,

como resistência à corrosão, alto grau de dureza, menor coeficiente de atrito entre os materiais sólidos, maior condutividade térmica e compatibilidade biológica. Por conta dessas propriedades ele é utilizado, por exemplo, como lubrificante sólido em dobradiças de painéis solares de satélites.

Além disso, por ser um material com condutividade térmica mais elevada do que a de todos os outros materiais conhecidos e com um grande intervalo de transmissão óptica, que abrange desde o infravermelho até o raio X, o diamante sintético pode ser empregado em ferramentas de corte e abrasão, protetores de superfícies contra corrosão química, ferramentas médico-odontológicas, protetores ópticos e outras aplicações. “No começo da década de 1990, já se vislumbrava nos Estados Unidos um mercado de bilhões de dólares, o que de fato ocorre hoje”, relata. “Atualmente, cada chip de computador tem uma base de diamante CVD porque ele dissipa mais rapidamente o calor.”

Inicialmente, Airoidi pensou em desenvolver diamantes sintéticos para a área espacial, como dissipadores de calor, lubrificantes sólidos e protetores ópticos. Mas, pela ampla gama de propriedades do material, quis estender suas aplicações para produtos usados no dia a dia. A escolha da odontologia como primeira aplicação industrial para o diamante foi fruto de uma estratégia que considerou o fato de os dentistas serem profissionais que apreciam ter um diferencial tecnológico no consultório para atender melhor os pacientes.

Para produzir as pontas de diamante sintético destinadas às brocas odontológicas, Airoidi criou em 1997 a empresa Clorovale Diamantes. Acopladas a aparelhos de ultrassom em substituição aos tradicionais de rotação, elas são hoje vendidas para o mercado interno e externo. “Somos a única empresa no mundo a empregar o diamante CVD na área de odontologia”, diz ele.

O diamante CVD é produzido em pequenos reatores, como uma cobertura na

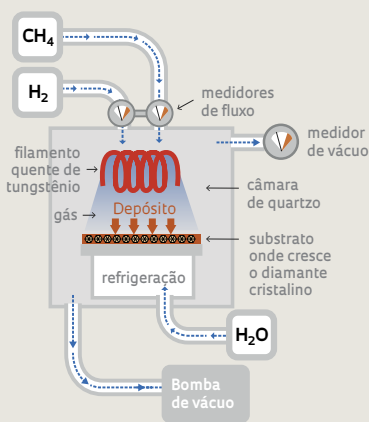
forma de pedra única, com gases como hidrogênio e metano. As brocas tradicionais são também recobertas por diamantes artificiais HPHT – sigla em inglês para *High Pressure, High Temperature* (alta pressão, alta temperatura) – ou naturais, mas sempre na forma de pó soldado em uma haste de aço. Já o diamante CVD nasce e cresce na própria haste metálica, recobríndo-a na espessura desejada. “São brocas que sofrem um desgaste mínimo com o uso e têm vida útil superior à das brocas tradicionais”, diz Airoidi. Além disso, sua fabricação não utiliza metais ou outros resíduos danosos ao ambiente nem ao paciente, porque as matérias-primas utilizadas são basicamente os gases hidrogênio e metano.

A Clorovale nasceu com financiamento da FAPESP por meio de um projeto na modalidade Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe). Desde então, outros quatro projetos foram aprovados pela Fundação na mesma modalidade, além de dois projetos temáticos e três auxílios regulares a pesquisa concedidos para o grupo de Airoidi no Inpe. A empresa também recebeu financiamento em 2006 por meio de um projeto de subvenção econômica à inovação aprovado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), do Ministério da Ciência e Tecnologia.

O pesquisador tem hoje 12 patentes depositadas relacionadas a diamantes sintéticos. A patente do diamante CVD já foi concedida nos Estados Unidos, Europa, Austrália, Japão e China. “A adesão do diamante à área metálica é a parte mais importante do invento, o objeto da patente”, relata Airoidi. Seu grupo de pesquisa, composto por cerca de 30 pessoas, entre pesquisadores, alunos e pós-doutorandos, já publicou mais de 150 artigos científicos sobre diamantes. Como reconhecimento pelo seu trabalho, em dezembro do ano passado Airoidi recebeu o Prêmio Finep de Inovação 2011 na categoria Inventor Inovador. Recebeu também, na mesma ocasião, o prêmio de melhor invento

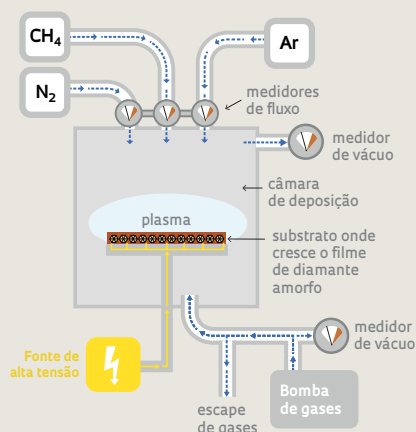
Como fabricar diamantes artificiais

Os dois tipos, cristalino e amorfo, resultam do processo de deposição química a vapor (CVD)



DIAMANTE CRISTALINO

Metano (CH_4) e hidrogênio (H_2) são aquecidos em uma câmara. Os diamantes crescem em pequenos reatores sobre uma superfície metálica e chegam a no máximo 300 milímetros.



DIAMANTE AMORFO

Metano, nitrogênio (N_2) e ar se misturam em reatores gigantescos, que permitem a produção de milhares de peças de cada vez. Cada diamante pode ter mais de 1.000 milímetros.

dicional. Diante do novo panorama, a empresa decidiu ampliar seu foco de atuação e hoje produz também pontas para brocas de rotação, usadas principalmente em laboratórios de prótese. A broca em diamante CVD custa em torno de R\$ 200,00, enquanto a de diamante convencional fica em cerca de R\$ 20,00. “Apesar da diferença, o custo benefício compensa pela duração do produto”, diz Airoidi. “Ela dura de 20 a 30 vezes mais que a convencional.”

A Clorovale fabrica atualmente mais de 30 modelos de pontas, desenvolvidos a pedido de dentistas e professores de odontologia. Elas são usadas para remoção de cáries, de resina e amálgama, no desgaste de dentes, no acabamento de obturações e até em cortes ósseos para implante de dentes – e ajudaram e inspiraram novos cursos. “O primeiro curso de odontologia ultrassônica do país foi criado na Universidade de São Paulo em Bauru”, diz Airoidi. A USP de Bauru tem hoje dois cursos, um na área de dentística e outro na de odontopediatria. Outros cursos similares são dados na Faculdade de Odontologia da USP de São Paulo, na Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara e São José dos Campos, ambas no interior paulista, e mais recentemente na Escola Paulista de Medicina Oral em São Paulo.

Além das brocas odontológicas, a tecnologia CVD é usada no Brasil em brocas para perfuração do fundo do mar na busca por petróleo. Nesse caso, pequenos tarugos de diamante sintético são incorporados no corpo da broca por meio de soldas ou processos especiais. Inicialmente a broca foi testada para perfuração de poços de água. Além de cortar 30% mais rápido e dar mais estabilidade ao eixo de perfuração do que a convencional com pó de diamante nas pontas, a broca mostrou ser duas vezes e meia mais durável. Diante dos resultados, a Petrobras testou a tecnologia com um protótipo especialmente desenvolvido para poços profundos de petróleo, com resultado considerado satisfatório. Outros testes estão previstos para serem conduzidos com dois novos protótipos encomendados pela Petrobras.

A Clorovale se dedica a uma linha de pesquisa com diamantes sintéticos chamados de amorfos. Enquanto os cristalinos têm uma estrutura organizada de átomos

mundial, concedido pela World Intellectual Properties Organization (Wipo).

Mesmo cercado de bons predicados, o produto inovador só conseguiu conquistar o mercado depois de um longo caminho. “Enfrentamos muitas dificuldades quando começamos a vender o nosso produto”, diz Airoidi. As vendas só começaram a se fortalecer em 2009, quando a empresa passou a exportar o produto após receber a aprovação da União Europeia. Na avaliação do pesquisador, o demorado tempo de resposta se deve ao fato de os consumidores resistirem à inovação tecnológica brasileira. “Mesmo fora do Brasil, pelo diferencial da nossa tecnologia não é tão simples apresentá-la ao potencial consumidor”, diz.

Antes de serem introduzidas no mercado, as novas brocas foram testadas por cerca de 500 dentistas e os resultados se mostraram bastante promissores. Segundo Airoidi, profissionais que testaram o produto antes do seu lançamento concluíram que o tratamento era indolor em mais de 70% dos casos, porque a broca atinge a cavidade dentária pela vibração,

sem esmagar a dentina, região onde ficam os filamentos nervosos que dão mais sensibilidade ao dente.

Além da broca com ultrassom para odontologia, na época a empresa desenvolveu uma outra de rotação convencional com ponta de diamante CVD. A técnica para recobrir as duas brocas é similar. O diferencial consiste na forma de atuação da ponta no dente, por rotação ou vibração. “Como na época a obtenção do diamante pelo processo CVD era muito cara, decidimos focar a produção apenas nas brocas com pontas acopladas a aparelhos de ultrassom, que consistia em uma novidade no mercado”, diz Airoidi.

Quase dez anos se passaram desde que a Clorovale colocou seus produtos no mercado. Nesse período, novos materiais foram incorporados à rotina dos consultórios – como resinas e materiais cerâmicos que necessitam de pontas mais eficientes nas brocas de rotação – e o diamante CVD se tornou mais competitivo em termos de custos em comparação com o tra-

de carbono, que confere extrema dureza ao material, os amorfos não têm uma estrutura definida, sendo por isso considerados materiais menos nobres. “Mesmo assim, o diamante amorfo é mais duro do que todos os metais conhecidos”, diz Airoidi. Os amorfos também são produzidos pela técnica CVD e recebem o nome de DLC (sigla de *diamond-like carbon*). A base de produção dos dois tipos de diamante é basicamente a mesma – gases como o hidrogênio e o metano, halógenos como o tetrafluoreto de carbono e outros hidrocarbonetos. A produção é feita a mais de 2.300° C na presença de plasma, fonte de energia necessária para causar a nucleação e o crescimento da cobertura de diamante. Materiais como silício, quartzo e metais como molibdênio e nióbio também fazem parte dos ingredientes utilizados na produção como substratos. Mas, enquanto o diamante cristalino é obtido apenas em regiões muito pequenas, de no máximo 200 a 300 milímetros, o amorfo pode atingir além de 1.000 milímetros. Outra diferença fundamental é que o cristalino é feito em reatores pequenos, enquanto o amorfo cresce em reatores imensos, que permitem a produção de milhares de peças de cada vez.

O DLC, mesmo não sendo tão duro como o diamante cristalino, tem propriedades extremamente interessantes, como alta aderência em superfícies metálicas, além de ser um bactericida e biocompatível. A propriedade bactericida é uma das mais importantes e pode ser melhorada quando se faz a incorporação em sua estrutura de nanopartículas bactericidas. “Quando o diamante amorfo DLC é aplicado em instrumentos médicos ou peças de transplantes, ele funciona também como inibidor de formação de coágulos sanguíneos”, diz Airoidi. Um dos projetos em andamento nessa linha de pesquisa é o seu uso para revestimento de válvulas do coração e em coração artificial. A Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) de São José dos Campos, a Universidade do Vale do Paraíba (Univap), também de São José dos Campos, o Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, entre outros, são parceiros da Clorovale nessa pesquisa. O produto está sendo



Broca com ponta revestida de diamante sintético para exploração de petróleo

Novas brocas motivaram a criação de cursos para dentistas

testado para aplicação em ferramentas utilizadas em implantes ósseos na ortopedia e para revestimento de bandejas usadas para transportar instrumental cirúrgico em hospitais.

Segundo ele, o diamante amorfo DLC pode ser utilizado para revestimento de qualquer dispositivo ou instrumento de aço inoxidável. Ao receber uma fina camada do produto, o aço adquire propriedades como baixo coeficiente de atrito e torna-se bactericida, além de ficar protegido contra a corrosão química e o desgaste mecânico. Na área espacial, o diamante amorfo estará na plataforma multimissão de todos os satélites brasileiros. “Não importamos mais lubrificação sólida, tudo é feito no laboratório do Inpe.” ■

OS PROJETOS

1. Novos materiais, estudos e aplicações inovadoras em diamante-CVD e Diamond-Like Carbon (DLC) – nº 2001/11619-4 (2002-2007)
2. Diamante-CVD para um novo conceito de ferramentas de alto desempenho para perfuração e corte – nº 2006/60821-4 (2007-2010)
3. Filmes de DLC para aplicações em superfícies antibacterianas, antiatrito, espaciais, industriais e para tubos de perfuração de poços de petróleo – nº 2006/60822-0 (2007-2010)

MODALIDADES

1. Projeto Temático
- 2 e 3. Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe)

COORDENADORES

1. Vladimir Jesus Trava Airoidi – Inpe/Clorovale
2. Leônidas Lopes de Melo – Clorovale
3. Alessandra Venâncio Diniz – Clorovale

INVESTIMENTO

1. R\$ 576.456,12
2. R\$ 550.661,41
3. R\$ 505.917,65

ARTIGO CIENTÍFICO

MARCIANO, F. R. *et al.* Oxygen plasma etching of silver-incorporated diamond-like carbon films. *Thin Solid Films*. v. 517, n. 19, p. 5739–42, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

Trajatória vitoriosa
Edição nº 192 – fevereiro de 2012

Sem medo do motorzinho
Edição nº 78 – agosto de 2002