

Diamantes versátiles

Un producto sintético es empleado en fresas odontológicas, para la perforación de petróleo en el mar y como bactericida

Dinorah Ereno

En diciembre de 2002, la empresa Clorovale Diamantes, de la localidad de São José dos Campos, interior paulista, lanzó comercialmente una nueva línea de 30 fresas de uso odontológico con puntas recubiertas de diamante sintético. La principal novedad de estas fresas consistía en el hecho de que funcionan debido a la vibración generada por ondas de ultrasonido, librando a los pacientes del molesto ruido del torno de las fresas convencionales que operan por rotación ultrarrápida. Y la promesa de un tratamiento con menos dolor, sin necesidad de recurrir al uso de la anestesia en la mayoría de los casos. “Por ser más precisas, estas fresas de diamante no causan traumas innecesarios en los dientes”, dijo en 2002 el físico Vladimir Jesus Traba Airoidi, socio de Clorovale y pionero en el desarrollo de diamante CVD (sigla de *chemical vapor deposition*, o deposición química en fase de vapor) sintético en Brasil.

Las investigaciones con diamante sintético, un material de color oscuro y opaco, empezaron en 1991, cuando Airoidi reanudó su trabajo como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) al cabo de concluir su posdoctorado en el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la Agencia Espacial Estadounidense (Nasa, por sus siglas en inglés), en Pasadena, California. “Mi propósito consistía en encontrar un proyecto en la Nasa que contase con un importante contenido científico y al mismo tiempo un alto tenor de aplicación”, comenta.

En ese entonces, los estudios con diamantes CVD sintéticos eran sumamente teóricos, no se tenía todavía una dimensión precisa acerca de lo que vendría. Lo que se sabía era que, al igual que los diamantes naturales, los sintéticos tienen propiedades físicas y químicas equivalentes, tales como la resistencia a la corrosión, el alto grado de dureza, menor coeficiente de

rozamiento entre los materiales sólidos, mayor conductividad térmica y compatibilidad biológica. Debido a estas propiedades, se lo utiliza como lubricante sólido en las bisagras de los paneles solares de satélites, por ejemplo.

Asimismo, por ser un material con conductividad térmica más elevada que la de todos los otros materiales conocidos y con un gran rango de transmisión óptica, que va desde el infrarrojo hasta el rayo X, el diamante sintético puede emplearse en herramientas de corte y abrasión, protectores de superficies contra la corrosión química, herramientas médico-odontológicas, protectores ópticos y otras aplicaciones. “A comienzos de la década de 1990, ya se vislumbraba en Estados Unidos un mercado de miles de millones de dólares, cosa que efectivamente sucede en la actualidad”, informa. “Hoy en día, cada chip de computadora tiene una base de diamante CVD pues disipa el calor más rápido.”

Inicialmente, Airoidi pensó en desarrollar diamantes sintéticos para el área espacial, como disipadores de calor, lubricantes sólidos y protectores ópticos. Con todo, debido a la amplia gama de propiedades del material, procuró extender sus aplicaciones a productos que se emplean en el día a día. La elección de la odontología como primera aplicación industrial para el diamante fue fruto de una estrategia que contempló el hecho de que los odontólogos son profesionales que aprecian contar en sus consultorios con herramientas que marquen la diferencia en términos tecnológicos, para atender mejor a sus pacientes.

Para producir las puntas de diamante sintético destinadas a las fresas odontológicas, Airoidi creó la empresa Clorovale Diamantes en 1997. Acopladas a aparatos de ultrasonido en reemplazo de los tradicionales de rotación, las mismas se venden actualmente a los mercados interno y externo. “Somos la única empresa del mundo que emplea el diamante CVD en el área de odontología”, dice.

El diamante CVD se produce en pequeños reactores como una cobertura en forma de piedra única, con gases tales como el hidrógeno y el metano. Las

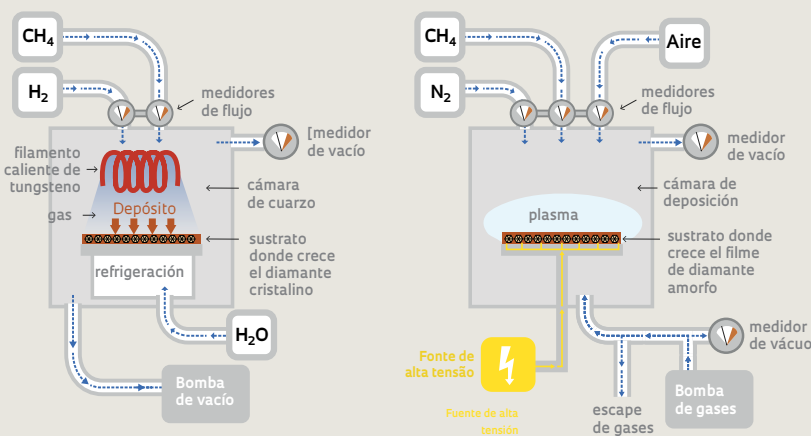
fresas tradicionales también se recubren con diamantes artificiales HPHT –sigla en inglés de *High Pressure, High Temperature* (alta presión, alta temperatura)– o naturales, pero siempre en forma de polvo soldado en una varilla de acero. En tanto, el diamante CVD nace y crece en la propia varilla metálica, recubriéndola en el espesor deseado. “Son fresas que sufren un desgaste mínimo con el uso y tienen una vida útil superior a la de las fresas tradicionales”, dice Airoidi. Asimismo, en su fabricación no se emplean metales u otros residuos perjudiciales para el medio ambiente o para el paciente, pues las materias primas utilizadas son básicamente los gases hidrógeno y metano.

Clorovale nació con financiamiento de la FAPESP mediante un proyecto en la modalidad de Programa de Investigación Innovadora en Pequeñas Empresas (Pipe). Desde entonces, otros cuatro proyectos han sido aprobados por la Fundación en esa misma modalidad, aparte de dos proyectos temáticos y tres ayudas regulares a la investigación concedidos al grupo de Airoidi en el Inpe. La empresa también recibió financiación en 2006 mediante un proyecto de subvención económica de la innovación aprobado por la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep), dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

El investigador cuenta actualmente con 12 patentes depositadas relacionadas con diamantes sintéticos. La patente del diamante CVD ha sido concedida en Estados Unidos, Europa, Australia, Japón y China. “La adherencia del diamante al área metálica es la parte más importante del invento, y es el objeto de la patente”, informa Airoidi. Su grupo de investigación, compuesto por alrededor de 30 personas entre investigadores, alumnos y posdoctorandos, ya ha publicado más de 150 artículos científicos sobre diamantes. Como reconocimiento a su trabajo, en diciembre del año pasado, Airoidi se hizo acreedor al Premio Finep de Innovación 2011 en la categoría Inventor Innovador. Fue galardonado también, en esa misma oportunidad, con el premio al mejor invento

Cómo fabricar diamantes artificiales

Los dos tipos, el cristalino y el amorfo, son el resultado del proceso de deposición química en vapor (CVD)



DIAMANTE CRISTALINO

Se calienta metano (CH₄) e hidrógeno (H₂) en una cámara. Los diamantes crecen en pequeños reactores sobre una superficie metálica y llegan a lo sumo a 300 milímetros.

DIAMANTE AMORFO

Se mezcla metano, nitrógeno (N₂) y aire en reactores gigantescos, que permiten la producción de miles de piezas juntas. Cada diamante puede tener más de 1.000 milímetros.

cos que requieren puntas más eficientes en las fresas de rotación– y el diamante CVD se ha vuelto más competitivo en lo atinente a costos en comparación con el tradicional. Ante este nuevo panorama, la empresa decidió ampliar su foco de actuación y actualmente produce también puntas para fresas de rotación, empleadas fundamentalmente en laboratorios de prótesis. La fresa de diamante CVD cuesta unos 200 reales, en tanto que la de diamante convencional cuesta alrededor de 20. “Pese a esta diferencia, la relación costo-beneficio la compensa, debido a la duración del producto”, dice Airoidi. “Dura entre 20 y 30 veces más que la convencional.”

Clorovale fabrica actualmente más de 30 modelos de puntas, desarrollados a pedido de odontólogos y docentes de odontología. Se las emplea para remover caries y también resina y amalgama; en el desgaste de dientes, para el acabado de obturaciones e incluso en cortes óseos para implante dentales, y han colaborado e inspirado la creación de nuevas carreras. “La primera carrera de odontología ultrasónica de Brasil se creó en la Universidad de São Paulo de la localidad de Bauru”, dice Airoidi. La USP de Bauru cuenta actualmente con dos carreras, una en el área de odontología estética y otra en la de odontopediatría. Otras carreras similares se dictan en la Facultad de Odontología de la USP de São Paulo, en las Facultades de Odontología de la Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Araraquara y de São José dos Campos, ambas en el interior paulista, y más recientemente en la Escuela Paulista de Medicina Oral, en São Paulo.

Amén de su uso en fresas odontológicas, la tecnología CVD se emplea en Brasil en brocas o trépanos para la perforación del fondo del mar en la exploración petrolífera. En este caso, se incorporan pequeñas chavetas de diamante sintético en el cuerpo del trépano, mediante soldadura o procesos especiales. Inicialmente, el trépano se testeó en la perforación de pozos de agua. Aparte de cortar un 30% más rápido y dotar de mayor estabilidad al eje de perforación que la convencional con polvo de diamante en las puntas, la broca demostró ser dos veces y media más durable. Ante estos resultados, Petrobras testeó la tecnología con un prototipo especialmente desarrollado

mundial, concedido por la World Intellectual Properties Organization (Wipo).

Pese a estar rodeado de tan buenas calificaciones, este producto innovador recién conquistó el mercado al cabo de un largo camino. “Afrontamos muchas dificultades cuando empezamos a vender nuestro producto”, dice Airoidi. Las ventas recién comenzaron a cobrar fuerza en 2009, cuando la empresa empezó a exportar su producto, luego de contar con la aprobación de la Unión Europea. Según la evaluación del investigador, ese moroso tiempo de respuesta se debe al hecho de que los consumidores manifiestan reticencia ante una innovación tecnológica brasileña. “Incluso fuera de Brasil, dado el carácter diferenciado de nuestra tecnología, no resulta sencillo presentársela a los potenciales consumidores”, dice.

Antes de salir al mercado, alrededor de 500 dentistas probaron las nuevas fresas, y los resultados se mostraron bastante prometedores. Según Airoidi, los profesionales que testearon los productos antes de su lanzamiento arribaron a la conclusión de que el tratamiento

era indoloro en más del 70% de los casos, pues las fresas actúan en la cavidad dental mediante vibración, sin aplastar la dentina, que es la zona en donde se encuentran ubicados los filamentos nerviosos que le confieren mayor sensibilidad los dientes.

Además de las fresas con ultrasonido para odontología, en esa época la empresa desarrolló otra, de rotación convencional y punta de diamante CVD. La técnica para ambos tipos de fresas es similar. La diferencia radica en la forma de actuación de la punta en el diente: por rotación o por vibración. “Como en esa época la obtención del diamante mediante el proceso CVD era muy cara, decidimos enfocar la producción solamente en las fresas con puntas acopladas a aparatos de ultrasonido, lo cual constituía una novedad en el mercado”, dice Airoidi.

Casi diez años han pasado desde que Clorovale sacó sus productos al mercado. En ese lapso, se han incorporado nuevos materiales a la rutina de los consultorios –tales como resinas y materiales cerámi-

para pozos profundos de petróleo, con un resultado considerado satisfactorio. Otros ensayos están previstos y se realizarán con dos nuevos prototipos por pedido de Petrobras.

Clorovale se aboca a una línea de investigación con diamantes sintéticos llamados amorfos. Mientras que los cristalinicos tienen una estructura organizada de átomos de carbono, que le confiere una extrema dureza al material, los amorfos no tienen una estructura definida, por eso se los considera materiales menos nobles. “De todos modos, el diamante amorfo es más duro que todos los metales conocidos”, dice Airoidi. Los amorfos también se producen con la técnica CVD y reciben el nombre de DLC (sigla de *diamond-like carbon*).

La base de la producción de ambos tipos de diamante es básicamente la misma: gases tales como el hidrógeno y el metano, halógenos como el tetrafluoruro de carbono y otros hidrocarburos. La producción se lleva a cabo a más de 2.300° C en presencia de plasma, la fuente de energía necesaria para provocar la nucleación y el crecimiento de la cobertura de diamante. Materiales tales como el silicio, el cuarzo y metales como el molibdeno y el niobio también forman

parte de los ingredientes utilizados en la producción como sustratos. No obstante, mientras que el diamante cristalino se obtiene únicamente en zonas muy pequeñas, de a lo sumo 200 ó 300 milímetros, el amorfo puede ir más allá de los 1.000 milímetros. Otra diferencia fundamental es que el cristalino se elabora en reactores pequeños, en tanto que el amorfo crece en reactores inmensos, que permiten la producción de miles de piezas juntas.

El DLC, aun cuando es tan duro como el diamante cristalino, tiene propiedades sumamente interesantes, tales como la alta adherencia en superficies metálicas, aparte de ser bactericida y biocompatible. La propiedad bactericida es una de las más importantes y puede mejorarse cuando se efectúa la incorporación en su estructura de nanopartículas bactericidas. “Cuando el diamante amorfo DLC se aplica en instrumentos médicos o piezas de trasplantes, funciona también



Trépano con punta revestida de diamante sintético para la exploración de petróleo

Las nuevas fresas motivaron la creación de nuevas carreras para odontólogos

como inhibidor de la formación de coágulos sanguíneos”, dice Airoidi. Uno de los proyectos en marcha en esa línea de investigación consiste en su uso para el revestimiento de válvulas cardíacas y en corazones artificiales. La Universidad Federal de São Paulo (Unifesp) de São José dos Campos, la Universidad de Vale do Paraíba (Univap), también de São José dos Campos, y el Hospital de Clínicas de la Universidad de São Paulo, entre otros, colaboran con Clorovale en esta investigación. El producto es sometido a ensayos de aplicación en herramientas utilizadas en implantes óseos ortopédicos y en revestimientos de bandejas de transporte de instrumental quirúrgico de hospitales.

Según Airoidi, el diamante amorfo DLC puede emplearse para revestir cualquier dispositivo o instrumento de acero inoxidable. Al recibir una delgada capa del producto, el acero adquiere pro-

iedades tales como un bajo coeficiente de rozamiento y se vuelve bactericida, aparte de que queda protegido contra la corrosión química y el desgaste mecánico. En el área espacial, el diamante amorfo formará parte de la plataforma multimisión de todos los satélites brasileños. “No importamos más lubricación sólida: ahora todo se hace en el laboratorio del Inpe.” ■

Los proyectos

1. Nuevos materiales, estudios y aplicaciones innovadoras en diamante-CVD y Diamond-Like Carbon (DLC) – nº 2001/ 11619-4 (2002-2007); **Modalidades** Proyecto temático; **Coordinadores** Vladimir Jesus Traba Airoidi –Inpe/ Clorovale; **Inversión** R\$ 576.456,12.
2. Diamante-CVD para un nuevo concepto de herramientas de alto desempeño para perforación y corte – nº 2006/ 60821-4 (2007-2010); **Modalidades** Investigación Innovadora en Pequeñas Empresas (Pipe); **Coordinadores** Leônidas Lopes de Melo – Clorovale; **Inversión** R\$ 550.661,41.
3. Filmes de DLC para aplicaciones en superficies antibacterianas, antirrozamiento, espaciales, industriales y para tubos de perforación de pozos de petróleo – nº 2006/ 60822-0 (2007-2010); **Modalidades** Investigación Innovadora en Pequeñas Empresas (Pipe); **Coordinadores** Alessandra Venâncio Diniz – Clorovale; **Inversión** R\$ 505.917,65.

Artículo 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 nuestro archivo

Una trayectoria victoriosa, Edición nº 192 – febrero de 2012; *Para no tenerle miedo al toro*, Edición nº 78 – agosto de 2002.