



Foto: www.fotosearch.com

www.silvermoon.es

► Titanio: El Metal más Resistente de la Industria

Luisa Fernanda Castro Patiño
Periodista Metal Actual

La industria aeroespacial y médica aumenta la demanda del titanio en el mundo.

Es el cuarto metal estructural más abundante en la superficie terrestre y el noveno en la gama de metales industriales. Algunas de sus características, como gran resistencia a condiciones extremas de temperatura, a la corrosión y su compatibilidad con el tejido humano, lo han convertido en uno de los recursos más empleados en el desarrollo de la tecnología aeroespacial, aeronáutica y médica.

De los 118 elementos químicos, el titanio es actualmente uno de los más comunes, pues se encuentra en abundancia en la corteza terrestre, arena blanca, minerales, rocas, cenizas de animales y plantas. Es un metal de transición ⁽¹⁾, de símbolo Ti, número atómico 22 y de color blanco plateado, empleado en numerosas aplicaciones metalmecánicas y tecnológicas y que, a través de aleaciones ligeras y fuertes altera, refina y mejora sus cualidades en general.

Este metal no se encuentra en estado puro, sino en forma de óxido en minerales como el rutilo, la ilmenita y la esfena, los cuales contienen además, cantidades mínimas de impurezas: hidrógeno, hierro, nitrógeno, oxígeno, paladio y níquel molibdeno, razón por la que es necesario

adelantar un proceso científico para obtenerlo con un porcentaje del 99,9 por ciento de pureza.

Las principales ventajas del titanio sobre otros metales, radican en la alta calidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas –ligereza, dureza y resistencia a la corrosión–, la amplia gama de aleaciones que forma y su comprobada utilidad en procesos térmicos y de fabricación de piezas y productos, hechos que lo han posicionado rápidamente en el mercado.

Propiedades del Titanio

Ligero, duro, resistente a la tracción, incluso a elevadas temperaturas, el titanio es preferido para casos en los que el factor peso es determinante o en los que el ambiente es demasiado corrosivo. Gracias a la fuerte afinidad que tiene con el oxígeno, que

le ayuda a formar una capa fina de óxido transparente y estable, este es uno de los metales más resistentes a los ácidos y por tal razón, se le considera materia prima fundamental en procesos metalmecánicos.

En la industria aeroespacial, por ejemplo, las aleaciones del titanio son utilizadas en las superficies exteriores de cohetes y aviones supersónicos de combate, dada la capacidad del material para soportar la fricción generada por la fuerza del aire en el espacio –cuando sobrevuelan a grandes velocidades– pero también por ser un material ligero (peso específico es de 4507 Kg/m^3).

En otro campo y debido a que el titanio es un metal inerte, su cubierta de óxido en contacto con tejidos humanos resulta insoluble, es decir,



Foto: www.estudiantes.info



Foto: www.drmp.unipd.it/Nimis

▼ El titanio se obtiene, entre muchos otros yacimientos, del rutilo y la imenita, dos minerales que se encuentran en el zafiro y en las rocas metamórficas respectivamente.

no libera iones que reaccionen con otras moléculas orgánicas; el resultado, los tejidos del organismo toleran su presencia sin que aún se hayan observado efectos alérgicos por parte del sistema inmunitario.

Precisamente, esta propiedad de biocompatibilidad ha hecho posible una gran cantidad de aplicaciones médicas como prótesis de cadera y rodilla, tornillos óseos, componentes para la fabricación de válvulas cardíacas, herramienta quirúrgico y placas antitrauma e implantes dentales, segmento, éste último, en el cual, el titanio ha sido capaz de representar una superficie metálica sobre la que el hueso crece y se adhiere, formando un anclaje anquilótico u osteointegración.⁽²⁾

También se destaca el material en cuanto sus propiedades mecánicas son similares a las del acero, específicamente al tipo inoxidable –tanto en estado puro como aleado– con el que compite en aplicaciones médicas formando superficies capaces de soportar cargas de gran peso, sin deformarse fácilmente, de hecho, su dureza es comparada con la del diamante (6 en la escala de Mohs).

De igual manera el metal es valorado por su buena tenacidad, es decir, su resistencia a quebrarse o desgarrarse, su excelente ductilidad que permite obtener alambres e hilos –muy valiosos a nivel tecnológico cuando se adelantan procesos de fabricación por ofrecer resistencia mecánica y mayor soldabilidad– y su maleabilidad, cualidad esencial para conformar hojas delgadas del material, por percusión.

En cuanto a su elasticidad, el titanio ofrece un módulo menor que el del acero, lo cual significa una deformación mayor que la sufrida por otros metales. La elasticidad del titanio depende del tipo de estructura que lo conforma y, a través de ella también se puede detectar si presenta dimorfismo. En este sentido el material, al ser sometido a temperaturas superiores a 882.5 °C, presenta una estructura Cristalina Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC) o beta, y a temperaturas por debajo de los 882.5°C o ambiente, alcanza una estructura Hexagonal Compacta (HCP) o alfa.

Vale señalar que la estructura tipo alfa ofrece mayor elasticidad que la beta, producto de la alta temperatura a la

que se somete, pero como en todos los metales, la resistencia mecánica del material disminuye a medida que la temperatura aumenta.

Por último, el titanio es 100 por ciento reciclable a razón que no se degrada, de hecho, un proveedor puede ofrecer una garantía de 100 años en lo que se refiere a fallas por corrosión, respaldo único cuando se emplea en campos como la arquitectura.

Tratamientos Térmicos y Aleaciones

Vale señalar que para mejorar las cualidades del titanio antes mencionadas y ampliar su rango de usos, la industria adelanta diferentes prácticas entre las que se encuentran los tratamientos térmicos y termoquímicos.

Precisamente, uno de éstos, de tipo termoquímico, es la nitruración del metal puro con aleación de titanio, aluminio y vanadio, que produce una capa lisa y homogénea que incrementa su dureza superficial hasta un 500 por ciento respecto al titanio no tratado. Por lo regular dicha capa –que alcanza un espesor entre los 2.0 y 3.0 mm, en tan sólo tres horas de tratamiento y es formada principalmente por pequeños granos de nitruros– ha sido de gran utilidad en aplicaciones biomédicas, en la fabricación de motocicletas y automóviles de carreras.

Foto: www.defenseindustrydaily.com



► *Las aleaciones de titanio con otros metales como el aluminio y el vanadio se usan en la construcción de aviones.*

Otros son los tratamientos de tipo superficial aplicados al titanio: la lubricación, la oxidación térmica, la ionización y la anodización que, de igual manera se adelantan para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material.

El primero (lubricación) se utiliza básicamente, al presentarse deslizamiento de superficies de titanio sobre titanio o cualquier otro metal, lo que provoca excoiación y, en este caso, el tratamiento consiste en aceitar las superficies usando lubricantes de película seca a base de disulfuro de molibdeno⁽³⁾ para evitar el roce y las consiguientes erosiones.

El tratamiento de oxidación térmica, de otra parte, se aplica específicamente para dar al metal mayor resistencia a la corrosión; en este sentido, actualmente existe una alternativa a los métodos tradicionales: la oxidación con láser, técnica muy rápida, que ofrece la posibilidad de irradiar zonas de difícil acceso y le otorga además al titanio coloraciones especiales, muy atractivas, que amplían sus posibilidades de uso a sectores como la joyería y la decoración.

Otros son el tratamiento de anodización, una técnica para aumentar el grosor de la capa de óxido y que constituye una solución muy eficaz para piezas no sometidas a desgaste continuo, asegurándoles durabilidad de superficie, y el tratamiento por ionización, el cual se realiza en frío y consiste en acelerar, en vacío, iones de nitrógeno para hacerlos impactar sobre la superficie tratada. Con este último procedimiento la dureza superficial aumenta hasta 1500 HV, nivel ideal para reforzar engranajes y tortillería.

Pero la industria no se ha valido solamente de los tratamientos térmicos para mejorar las propiedades del titanio, también ha recurrido a alearlo con otros elementos, obteniendo una amplia variedad, con propiedades específicas según el uso y el tipo de proceso adelantado para su obtención. Al respecto, la norma ASTM Internacional presenta una clasificación de las aleaciones según sus grados, características y composiciones, siendo los más utilizados los de 1 al 12. (Ver cuadro 1 y 2).

La aleación más conocida es la de titanio con vanadio, hierro y aluminio, utilizada ampliamente en la industria médica y aeroespacial para la fabricación de prótesis óseas y aviones, respectivamente, aunque también son comunes otras como las aleaciones alfa-beta, en las que se encuentran las dos estructuras al mismo tiempo y que combinan propiedades de las dos estructuras, hecho que las hace más resistentes a diferentes temperaturas y a la corrosión, aunque con una ductilidad muy baja.

Vale anotar que el departamento de Ingeniería mecánica de la Universidad de los Andes, en Bogotá, trabaja actualmente en la aleación de Ni con Ti, conocida comercialmente como Nitinol, una composición química, nueva en el país, destacada por su alta capacidad para recuperar su forma original o capacidad de memoria, luego de sufrir una deformación plástica a causa de calor. Este tipo de aleación se utiliza en el campo de la medicina, la robótica, la industria militar, entre otras.

Usos del Titanio

El uso del titanio frente a otros metales se ha extendido más allá de los campos médico o aeroespacial debido a sus extraordinarias propiedades, de hecho, otras importantes industrias lo ha promovido como sustituto del aluminio y el acero.

- **Industria energética:** el titanio es ampliamente utilizado en la construcción de sistemas de intercambio térmico y en centrales eléctricas y nucleares, ya que su resistencia le confiere a los haces tubulares mayor capacidad para soportar las vibraciones, lo que reduce el espesor de los tubos y facilita el intercambio de calor.
- **Industria de procesos químicos:** para este campo se utilizan aleaciones de hierro y titanio de alta resistencia a la corrosión, para fabricar componentes como bombas, depósitos, reactores químicos y columnas de fraccionamiento empleadas en procesos que utilizan agua de mar como refrigerante. De igual manera, el titanio es usado en las unidades de desulfuración de gases encargadas de reducir las emisiones de dióxido de azufre en las centrales térmicas de carbón, donde se utilizan ácidos y soluciones de clorito e hipoclorito.
- **Industria automovilística:** las empresas automovilísticas están incorporando componentes de titanio en la fabricación de autos de competencia, debido a que este metal aligera el peso. En la actualidad, se fabrican bielas y muelles (amortiguadores) de titanio, con el fin de mejorar, en el caso de los muelles, el Módulo de Young⁽⁴⁾ y obtener una mejor suspensión.

Foto: www1.harenet.ne.jp



▼
El museo de Guggenheim Bilbao, es una obra del arquitecto americano Frank O. Gehry en la que utilizó titanio, junto con piedras y cristal. Un buen ejemplo de arquitectura de vanguardia.

Propiedades mecánicas de los grados ASTM

Las siguientes, son las propiedades de los grados más utilizados del titanio para la fabricación de piezas, según la norma ASTM.

Grado 1 No aleado	Empleado cuando se requiere máxima conformabilidad y es necesario reducir los contenidos de hierro y de elementos intersticiales, con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión. Posee también buenas propiedades para contrarrestar el impacto de bajas temperaturas. Poco se utiliza por ser demasiado blando y ofrecer poca resistencia mecánica.
Grado 2 Aleación de hierro y titanio	De uso industrial, posee un límite mínimo de 275 Mpa y una ductibilidad del 20%, característica que garantiza su excelente soldabilidad. El grado 2 posee resistencia a la tracción de 345 Mpa y una dureza de 82 HRB, lo cual significa alta resistencia a la corrosión y conformabilidad. También presenta un porcentaje bajo de impurezas y dentro de sus aplicaciones particulares, está la elaboración de instrumentos médicos y diversos dispositivos quiroprácticos.
Grado 3 y 4 No aleados	Óptima ductilidad y formabilidad en frío, de gran tenacidad, alto impacto, excelente soldabilidad y resistencia a la corrosión en medios oxidantes y levemente reductores, incluidos cloruros. Ideales para construir fuselajes, intercambiadores de calor, recipientes criogénicos, componentes industriales, equipos CPI, tubos.
Grado 1, 2, 3 y 4	La combinación de estos grados produce el titanio puro comercial (composición superior al 99%). Aunque es utilizado en aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión, superior las que ofrecen otros materiales como el acero y el aluminio, es relativamente débil, ya que pierde su resistencia mecánica a temperaturas elevadas. Se emplea para fabricar tuberías, reactores, bombas y válvulas para la industria química y petroquímica.
Grado 5 y 9	Son aleaciones de titanio, aluminio y vanadio de gran resistencia a la corrosión, pero con un nivel medio en cuanto a resistencia mecánica. Su uso está limitado a productos específicos, como tortillería y piezas forjadas. El grado 5 es una especificación útil para obtener buena soldadura y resistencia eléctrica, de allí su aplicación en el área biomédica y aeroespacial.
Grado 7, 11 y 12	Estos grados también alean titanio, aluminio y vanadio, por ejemplo en procesos de reducción de ácidos clorados. Ofrecen buena resistencia a la corrosión para aplicaciones en la industria de procesamiento químico, en la cual el medio líquido es de leve reducción.
Ti Beta -C	Aleación con alta resistencia a la corrosión y a la temperatura, por tal razón se utiliza principalmente en aplicaciones marinas.

- **Industria militar:** producto de su dureza y resistencia a la tracción, se utiliza para producir material de blindaje, construir portaaviones, carrocería de vehículos ligeros, submarinos nucleares y misiles.
- **Construcción naval:** Gracias a su resistencia a la corrosión, el titanio se emplea regularmente en lugares donde existe contacto con agua salada, la industria naval lo utiliza por ejemplo, para fabricar hélices, ejes de timón, cascos de cámaras de presión submarina, componentes de botes salvavidas, así como plataformas petrolíferas, intercambiadores de calor y condensadores.
- **Decoración:** Dado que el material es altamente maleable y dúctil, resulta ideal para la fabricación de láminas delgadas empleadas para recubrir construcciones, tal como sucedió con el Museo de Arte Contemporáneo Guggenheim Bilbao, ubicado en España y que se ha convertido en el símbolo más importante de la ciudad.
- **Instrumentos deportivos:** actualmente, y gracias a su dureza y resistencia, se producen diferentes artículos de consumo deportivo, entre los más destacados están los palos de golf, bicicletas y cañas de pescar.
- **Joyería y bisutería:** El titanio se utiliza como metal seminoble en el ámbito de la joyería y bisutería, tras

ser sometido a un proceso de oxidación que mejora su aspecto superficial y le da colores muy llamativos.

Mecanizado del Titanio

El titanio puede ser mecanizado de la misma manera que el aluminio y el acero, es decir, a través de tecnologías tradicionales –con buenos resultados técnicos y económicos– aunque adelantándolas de forma rigurosa y con herramientas de corte en perfectas condiciones, pues este material es mucho más elástico que el acero y las piezas mal sujetas pueden doblarse ante la presión de las herramientas de corte, provocando vibraciones, aumento de tolerancias de fabricación y abrasión en las herramientas.

El uso óptimo de titanio requiere de ciertos conocimientos, tanto en la fase del diseño de producto, como en los procesos de fabricación, algunos de estos se reseñan en el presente artículo, para lo que se sugiere ver el cuadro de procesos de mecanizado.

El Mercado del Titanio

Actualmente, el titanio es uno de los insumos más utilizados en industria de alta gama gracias a la abundancia de yacimientos de minerales suficientemente ricos y existen-

tes del metal en el mundo y al desarrollo tecnológico de las empresas que lo utilizan como insumo, de hecho, se registra una demanda creciente para emplearlo en campos en los que regularmente se usaba aluminio, aleaciones de cobre, níquel o acero, y su producción mundial alcanzó las 200.000 toneladas métricas en los últimos cuatro años.

Según un informe del periódico The Wall Street Journal, la producción de titanio en el mundo se ha disparado en los últimos cuatro años, debido, principalmente, al desarrollo alcanzado por la industria aeroespacial, la cual también ha provocado un aumento considerable en el precio. El titanio ha pasado de los 6 dólares por kilo en el 2003, a 15 dólares en el 2007. De ahí que el gobierno de Estados Unidos tenga como objetivo identificar mayores reservas de titanio y aportar al descenso de los precios hasta los 2 dólares el kilo.

Es así como en Estados Unidos, Boeing –la mayor fabricante mundial de cohetes, satélites de comunicaciones, aviones civiles y militares– realizó en el 2005 una alianza comercial con la rusa VSMPO-Avisma, para la construcción de una fábrica que produjera, en mayores proporciones, el titanio comercial y de esta manera asegurar suministros suficientes del insumo para la compañía

norteamericana e intensificar la cooperación estratégica entre los dos países.

La VSMPO-Avisma, empresa élite del complejo militar e industrial de Rusia es, actualmente, la encargada de suministrar la mayor producción de titanio para proyectos aeroespaciales y aviones de uso comercial, pero también productos de titanio para compañías tan importantes como Airbus, Embraer, Goodrich, Snecma, Rolls-Royce y Patt&Whitney, hecho que sitúa al país ruso como uno de los principales productores del insumo a nivel mundial.

Vale anotar que la corporación rusa VSMPO-Avisma, es la única que suministra productos de titanio a todas las empresas aeronáuticas, militares, metalmecánicas de ese país y además es un socio fiable en otros países que participan en la Comunidad de Estados Independientes – CEI, organización supranacional compuesta por 11 de las antiguas 15 Repúblicas Soviéticas.

China, por su parte, también se ha convertido en uno de los más importantes proveedores y consumidores de titanio en el mundo, pese a que la mayor producción proviene de las industrias locales que no poseen las técnicas y la tecnología necesaria para obtenerlo, por tanto, la calidad

Cuadro: Proceso de mecanizado

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Embutición	Para este proceso se emplea comúnmente Titanio grado 5, que ofrece gran elongación gracias a su buen límite de elasticidad (827 Mpa). La técnica consiste en colocar la pieza a moldear entre las dos mitades del troquel a una temperatura que permita plasticidad en el material. Posteriormente, se insulfa argón caliente en la parte superior del molde y se fuerza la lámina de titanio contra la parte interior del troquel. La embutición es recomendada sólo para lotes de piezas muy grandes, dada la escasez de troqueles y moldes, pero la ventaja es que el tiempo de conformación de la pieza es corto.
Fresado Químico	Consiste en sumergir la pieza de titanio en una solución de 120-190 g/l de ácido hipofluórico con un agente tensoactivo, manteniendo la temperatura de la solución en 300-400°C, de esta manera, el metal pierde masa a una velocidad de 0,02 mm/minuto. Las zonas de la pieza que no deben ser atacadas, deben protegerse con una capa de elastómero de neopreno o de copolímero de insubutileno-isopropileno. Con esta técnica se obtiene buenos acabados.
Taladrado	Para esta técnica se deben utilizar brocas de acero súper rápido, cuando se trabaje aleaciones de titanio grado 5, a fin de lograr un taladrado más preciso. También se recomienda que las brocas estén afiladas, limpias, que tengan longitud suficiente para obtener la dimensión deseada del agujero y para que las virutas se expulsen fácilmente.
Escariado	Dado que se trata de obtener un acabado fino y preciso en agujeros previamente taladrados, debe emplearse una broca estándar de acero rápido o carburo, de un diámetro ligeramente inferior al del agujero que se quiere conseguir, es decir entre 0,25 y 0,50 mm y con una longitud en el borde de mínimo 10 grados. Se recomienda practicar escariados con un número de estrías que aseguren espacio de desahogo suficiente entre los dientes, para la expulsión de las virutas.
Soldadura por fusión	En esta práctica debe controlarse que la pieza de titanio no supere la temperatura de fusión, ya que puede reaccionar al contacto con los gases atmosféricos y sufrir una decoloración tornándose de color amarillo pajizo a gris plomo, aspecto que denota pérdida de ductibilidad, dureza y resistencia a la tracción. Para evitar estas reacciones, es necesario proteger en gas inerte (argón) las piezas de titanio. También debe procurarse limpiar muy bien las piezas a soldar, así como el taller donde se adelante la práctica, ya que los contaminantes de superficie pueden provocar porosidad.
Fundición	Recomendable cuando el diseño complejo haga difícil el forjado o el mecanizado de una pieza. Para adelantarla se recurre a la fundición por moldeo de grafito apisonado –recomendado por economía, para fundir piezas de gran tamaño ya que no hay necesidad de fabricar moldes especiales– y a la fundición a la cera perdida, método apropiado para fundir piezas pequeñas, con acabados de alta calidad. Se producen piezas de fundición de hasta 600 Kg. tanto en titanio puro comercial como en cada una de sus aleaciones.



Foto:www.almirantenis.com.ar



Foto:www.motosgalicia.com



Foto:www.tempusdomini.com



Foto:www.cicliambrosini.com

► *Productos de todo tipo se obtienen a partir del titanio, aunque el factor común es su alto costo.*

es relativamente baja y se usa principalmente para fabricar bicicletas, palos de golf y tubos antisépticos, estos últimos para la industria química.

Esta situación ha motivado al país asiático a adelantar estudios científicos y utilizar tecnología adecuada para ejecutar mejores técnicas para la producción de este metal con fines aeronáuticos y de este modo, convertirse en una alternativa de suministro para las compañías que demanden el insumo y aportar a la economía china.

En este sentido, el Grupo Limitado de Recursos Minerales de China GLRMCh, una de las corporaciones minerales de rutilo de titanio ⁽⁵⁾ más grandes de ese país, planea hacer investigaciones sobre la técnica para producir titanio comercialmente puro en cooperación con firmas extranjeras y planea además, invertir unos 102 millones de dólares estadounidenses, en su planta de fundición para obtener 5 mil toneladas de titanio esponjoso anualmente.

Así, se revela como el titanio se ha convertido en un producto de gran interés y en un reto para la industria mundial pues, la producción de alta calidad que exige el sector aeronáutico, implica un procedimiento técnico muy complejo que, hasta el momento, dominan muy pocas empresas del mundo. Pueda que el boom de este valioso metal incentive también su estudio y aprovechamiento en zonas donde abunda y se ignora. valioso metal incentive también su estudio y aprovechamiento en zonas donde abunda y se ignora. ▣

Fuentes:

- **Wilson A. Hormaza Rodríguez.** Ingeniero Mecánico, Coordinador General del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes. whormaza@uniandes.edu.co
- www.wikipedia.org/wiki/Titanio - www.tornillosdetitanio.com/pdf/lowde.pdf: Manual del titanio - www.books.google.com: Aleaciones ligeras del titanio - www.voltairenet.com: Titanio Ruso conquista el cielo: por Vladirmir kalilin - www.cotizalia.com: El boom de la industria aeroespacial duplica los precios del titanio. www.metalmecanica.com

Citas:

- 1) **Metales de transición:** conjunto de elementos situados en la parte central del sistema periódico, cuya principal característica es poseer gran cantidad de electrones alojados en el orbital d.
- 2) **Osteointegración:** unión mecánica estable y duradera, producida entre el hueso vivo maxilar y el cuerpo de un implante dental de titanio que acontece sin interposición de tejido conectivo. El uso de esta técnica quirúrgica moderna permite al paciente que ha sufrido una pérdida dental, recuperar plenamente la función masticatoria y la estética bucal.
- 3) **Disulfuro de molibdeno (MoS₂):** buen lubricante por sí mismo, que brinda también propiedades de tolerancia a los demás lubricantes para que no reaccionen con el metal, formando una capa cristalina en la superficie de éste. Con su uso, el contacto metal-metal, destructivo a largo plazo, se reduce al mínimo y se puede emplear a altas temperaturas.
- 4) **Módulo de Young:** parámetro o medida que caracteriza el comportamiento de un material según su elasticidad. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para las dos, siendo una constante independiente del esfuerzo, siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico.
- 5) **Rutilo:** mineral compuesto por dióxido de titanio que se cristaliza de forma tetragonal (con cuatro ángulos) distorsionada. Puede ser incoloro hasta pardo según la concentración de hierro (III) y se halla en los yacimientos de zafiro. Los mayores productores de este mineral son Rusia, India y el continente antártico.