

Resumen

El titanio es un material que ofrece valiosas propiedades, como su baja densidad, gran resistencia mecánica y a la corrosión, buen comportamiento a elevadas temperaturas y biocompatibilidad. Estas propiedades son las responsables del creciente empleo a nivel industrial del titanio, de sus aleaciones y de sus compuestos. Por otro lado entre las diferentes vías por las que se puede procesar este material se encuentra la pulvimetalurgia convencional, ofreciendo las ventajas de un proceso de transformación en estado sólido, que permite reducir la posible reactividad de los materiales intervinientes, y estando considerado un proceso que reduce considerablemente los costes de producción, por estar clasificado dentro de los llamados “near net shape” o procesos cuya forma es cercana a la final.

En este trabajo se ha planteado el empleo de la técnica pulvimetalúrgica convencional, de compactación y sinterización, para procesar polvo de titanio puro comercial al que se le han incorporado diferentes porcentajes de partículas, de diversos tipos de compuestos de titanio (TiC, TiN y TiSi₂). El objetivo ha sido estudiar la reactividad resultante entre las partículas de adición y la matriz de titanio puro, y su influencia sobre determinadas propiedades finales de los materiales obtenidos; evaluando, simultáneamente, la respuesta al uso de diferentes temperaturas de sinterización. Adicionalmente, en este trabajo se ha realizado, de forma introductoria, un estudio del estado del arte de los actuales desarrollos en la obtención de materiales compuestos base titanio y similares, así como de los principales procesos pulvimetalúrgicos empleados en los últimos tiempos.

La investigación se ha realizado empleando diversas técnicas de caracterización para estudiar los materiales procesados. Por un lado se han evaluado la densificación y contracciones experimentadas, la porosidad interna e interconectada conseguidas, la dureza de los materiales en general, y la microdureza y nanodureza presentada por cada una de las fases formadas; mediante ensayos de flexión se ha investigado la resistencia, tenacidad, deformación y módulo elástico a flexión presentados por los materiales procesados; se ha evaluado el módulo de Young y coeficiente de Poisson mediante el empleo de ultrasonidos; y mediante ensayos tribológicos se han evaluado su coeficiente de fricción y tasa de desgaste. Por otro lado se han realizado caracterizaciones microestructurales a través de microscopía óptica y electrónica empleando técnicas de microanálisis EDS y EBSD, para poder determinar metalúrgicamente la reactividad producida durante el proceso entre la matriz de titanio y los materiales adicionados, así como la formación de fases y estructuras cristalinas formadas. Y finalmente este estudio microestructural se ha complementado con análisis mediante calorimetría diferencial de barrido que permiten conocer las posibles transformaciones de fase que han tenido lugar.

Los estudios realizados han permitido concluir que la vía pulvimetalúrgica convencional permite la obtención de materiales compuestos y aleaciones base titanio que ofrecen propiedades de interés industrial. Se ha evaluado la diversa reactividad ofrecida por los diferentes materiales adicionados, y se ha podido determinar la influencia de esta reactividad sobre las microestructuras y fases metalúrgicas formadas durante el proceso, así como el impacto y relación de estas formaciones microestructurales con propiedades mecánicas y tribológicas de los materiales procesados.

Resum

El titani és un material que ofereix valuoses propietats, com una baixa densitat, gran resistència mecànica i resistència a la corrosió, bon comportament a elevades temperatures i biocompatibilitat. Aquestes propietats són les responsables del creixent ús a nivell industrial del titani, dels seus aliatges i dels seus compostos. D'altra banda, entre les diferents vies per les quals es pot processar aquest material es troba la pulvimetalúrgia convencional, la qual ofereix els avantatges d'un procés de transformació en estat sòlid, que permet reduir la possible reactivitat dels materials intervinents. A més a més, es considera que aquest redueix considerablement els costos de producció, per estar classificat dins dels anomenats "near net shape" o processos de forma propera a la final.

En aquest treball s'ha plantejat l'ús de la tècnica pulvimetal-úrgica convencional, de compactació i sinterització, per a processar pols de titani pur comercial al qual se li han incorporat diferents percentatges de partícules de diversos tipus de compostos de titani (TiC, TiN i TiSi₂). L'objectiu ha estat estudiar la reactivitat resultant entre les partícules d'addició i la matriu de titani pur, i la seva influència sobre determinades propietats finals dels materials obtinguts; avaluant, simultàniament, la resposta a l'ús de diferents temperatures de sinterització. Addicionalment, s'ha realitzat, de forma introductòria, un estudi de l'estat de l'art dels actuals desenvolupaments en l'obtenció de materials compostos base titani i similars, així com dels principals processos pulvimetal-úrgics emprats en els últims temps.

La investigació s'ha realitzat emprant diverses tècniques de caracterització per estudiar els materials processats. D'una banda, s'han avaluat la densificació i contraccions experimentades, la porositat interna i interconnectada aconseguides, la duresa dels materials en general, i la microduresa i nanoduresa presentada per cadascuna de les fases formades; mitjançant assajos de flexió s'ha investigat la resistència, tenacitat, deformació i mòdul elàstic a flexió presentats pels materials processats; s'ha avaluat el mòdul de Young i coeficient de Poisson mitjançant l'ús d'ultrasons; i mitjançant assajos tribològics s'han avaluat el seu coeficient de fricció i taxa de desgast. D'altra banda s'han realitzat caracteritzacions microestructurals a través de microscòpia òptica i electrònica emprant tècniques de microanàlisi EDS i EBSD, per poder determinar metal·lúrgicament la reactivitat produïda durant el procés entre la matriu de titani i els materials adicionats, així com la formació de fases i estructures cristal·lines formades. I finalment, aquest estudi microestructural s'ha complementat amb anàlisis mitjançant calorimetria diferencial d'escombrat que permeten conèixer les possibles transformacions de fase que han tingut lloc.

Els estudis realitzats han permès concloure que la via pulvimetal-úrgica convencional permet l'obtenció de materials compostos i aliatges base titani que ofereixen propietats d'interès industrial. S'ha avaluat la diversa reactivitat oferta pels diferents materials adicionats, i s'ha pogut determinar la influència d'aquesta reactivitat sobre les microestructures i fases metal·lúrgiques formades durant el procés, així com l'impacte i relació d'aquestes formacions microestructurals amb propietats mecàniques i tribològiques dels materials processats.

Abstract

Titanium is a material that offers valuable properties such as low density, high strength, good chemical and high temperatures corrosion resistance, and biocompatibility. These properties have contributed to the industrial increasing use of titanium, its alloys and its metal matrix composites. The use of Powder metallurgy technique has become more popular as a technique to processes titanium and titanium alloys. Powder metallurgy is a solid state technique, this attribute reduces not only reactivity among the different materials, but also production costs by being a process "near net shape".

Conventional powder metallurgy route, compact and sintering process, has been used in this thesis to produce commercially pure titanium powder with different added particles. The particles that have been added are TiC, TiN and TiSi₂. The objective of this thesis was to study the reactivity between the particles added and the pure titanium matrix. The influence of these reactivity on microstructure and mechanical and tribological properties have been analyzed, and in addition the influence of different sintering temperatures have been evaluated too. On the other hand a work collection of present techniques to produce titanium matrix composites and current powder metallurgy processes have been done.

Different properties as densification, shrinkage and porosity, in processed materials, have been studied. Furthermore hardness, microhardness and nanohardness of these materials and their different phases have been evaluated too. Flexural strength, toughness, deformation and flexural modulus have been calculated with flexural test. The Young's modulus and Poisson's ratio have been evaluated by ultrasound technique. On the other hand, frictional coefficient and wear rate of these materials have been analyzed with tribological test. Microstructural characterization by optical and electron microscopy, using EDS microanalysis and EBSD techniques, have been made. To end differential scanning calorimetry and termogravimetry have been employed to study phase transformations produced and oxidations process.

These research have concluded that conventional powder metallurgy route is an interesting technique to produce titanium matrix composites and titanium alloys, and offers interesting industrial properties.

Reactivity between titanium matrix and added particles have been studied, and his influence in mechanical and tribological properties, microstructure and phases formed have been evaluated.