

ESTUDIO DE UNIONES MECANICAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ CERAMICA

E. Erauzkin, J. Andikoetxea

ITP. PARQUE TECNOLOGICO. EDIFICIO 300. ZAMUDIO. VIZCAYA

Resumen. Los materiales compuestos de matriz cerámica son empleados cada día en mayor número de aplicaciones en la industria aeronáutica. No obstante, la complejidad de formas demandada, para los componentes fabricados en estos materiales requiere la unión de partes sencillas. Sin embargo, éste es un tema que no ha sido abordado suficientemente y que dista mucho de ser solventado. El presente trabajo es una contribución en este campo, consecuencia de un problema real planteado.

Abstract. Ceramic matrix composite materials are used more and more each day in the aircraft industry for different applications. However, new design required complicated forms, built from the union of others more simple. Nevertheless, this subject has not been enough studied and the solutions are selected for each particular problem. The present work represents a contribution in this field after the study of a particular case.

1. INTRODUCCION

Los materiales compuestos de matriz cerámica han ido incorporándose en los últimos años en aquellas aplicaciones en las que la temperatura y el peso son los factores preponderantes. No obstante, cuando deben fabricarse partes muy complejas, el costo puede ser tan elevado que debe recurrirse al diseño de otras más sencillas unidas entre sí. Este hecho normal en cualquier actividad de diseño puede resultar insalvable para estos materiales en los cuales no se ha encontrado la solución óptima para unirlos. De igual forma el problema de la unión se manifiesta también cuando una pieza cerámica debe integrarse en un conjunto metálico. Los problemas principales que se plantean son: por un lado una importante diferencia en los coeficientes de dilatación entre ambos tipos de materiales y por otro la falta de tornillos estandarizados que puedan trabajar a temperaturas tan elevadas como se requieren para los materiales cerámicos. Adicionalmente, las operaciones de atornillado pueden provocar agrietamientos en el material cerámico difícilmente controlables en servicio. El problema requiere por tanto, un enfoque

dirigido tanto a la elección del material adecuado, cálculo de la unión y método de llevarla a cabo.

2. PARTE EXPERIMENTAL

En el estudio realizado se parte de una placa de 3 mm. de espesor de material compuesto, tejido bidireccionalmente (0-90°) de fibras de SiC sobre una matriz cerámica Al_2O_3 . La porosidad del material es de un 10% y el contenido en fibras un 37%. Para llevar a cabo la unión se tomaron tornillos fabricados en una aleación base níquel de alta resistencia a temperatura y fluencia. Las propiedades de este material a temperatura ambiente, son Módulo elástico 200 GPa, Límite elástico 550 MPa y carga de rotura 800 MPa.

Para el cálculo de las uniones se empleó el paquete de elementos finitos NASTRAN. En la zona de unión de los materiales se consideraron elementos "GAP" los cuales inducen una rigidez variable entre materiales en función de que estén en contacto o no.

Una vez calculados los pares de apriete se llevaron a cabo tratamientos térmicos de simulación de las condiciones reales de servicio de placas unidas mediante tornillos metálicos comerciales en una mufia de laboratorio de $\pm 5^\circ\text{C}$ de precisión.

El tratamiento térmico se realizó a 800°C durante un tiempo máximo de 30 horas, realizándose posteriormente una inspección visual y metalográfica de las uniones.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Para el cálculo de la geometría óptima de la unión y par de apriete se adoptó como criterio de fallo la tensión a agrietamiento de la matriz. Este es un valor de gran importancia para estos materiales, ya que si bien la tensión última de rotura es superior, la primera representa la tensión que origina un agrietamiento crítico en la matriz a partir de la cual las fibras se encuentran libremente expuestas frente a una oxidación exterior, y por tanto susceptibles de sufrir una degradación total del material. Se supone una condición de trabajo de 800°C por ser representativa de la que en servicio puede presentar el componente.

El empleo de una unión de dos placas cerámicas y un tornillo estandar cónico o hexagonal reporta unos valores de la tensión principal muy por encima de la tensión de agrietamiento de la matriz, cuando se considera la temperatura anteriormente mencionada. La razón fundamental es que cuando se somete a temperatura el conjunto placa de material CMC y tornillo metálico la diferencia en los coeficientes de dilatación genera una descompresión en la unión que no puede ser mejorada, ya que precargas que consiguieran evitar este aspecto agrietarían la matriz de la placa cerámica.

Deshechados tornillos convencionales, se ideó una nueva geometría, constituida por tuerca y arandela cónica. La tuerca se seleccionará con un coeficiente de dilatación mayor que de la arandela, de modo que al alcanzar la temperatura se origina una fuerza de compresión en la zona de contacto que mantendrá unidas las placas.

La figura 1 muestra el sistema elegido.

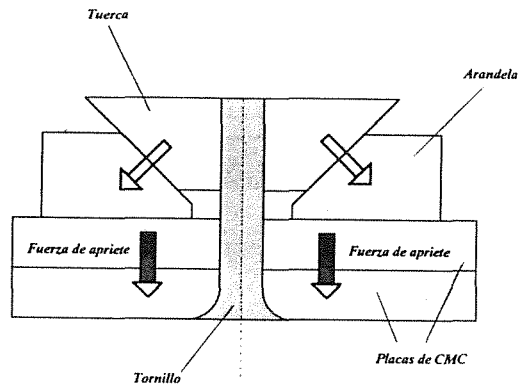


Figura 1: Esquema de unión mecánica.

El cálculo del ángulo de la línea de contacto se define por medio de la ecuación

$$z = A e^{q(T-T_0)} x^p$$

donde A es una constante, q y p están relacionados con los coeficientes de dilatación del tornillo y material cerámico respectivamente, siendo T y T_0 las temperaturas de trabajo y referencial.

Tomando un tornillo de cabeza cónica de 100° , se necesita un ángulo de contacto de 70° para mantener unas tensiones admisibles, muy por debajo de la tensión de agrietamiento de la matriz.

Los tratamientos térmicos llevados a cabo en varias uniones de placas cerámicas evidencian el buen comportamiento de la unión, habiéndose detectado como único problema la oxidación superficial de los tornillos a la temperatura del tratamiento. Asimismo, en algunos casos se observaron pequeños fallos en el mecanizado cuyo efecto no ha sido evaluado.

La figura 2 muestra el aspecto de una de las placas cerámicas con resto de óxidos.

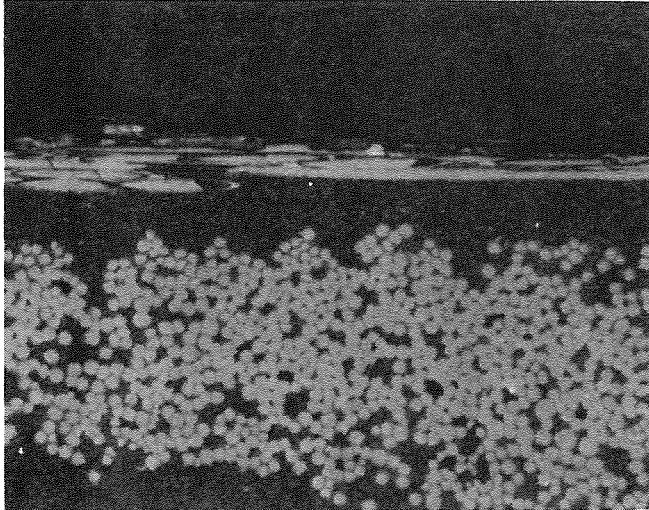


Figura 2: Aspecto de la placa cerámica

4.- CONCLUSIONES

Los materiales compuestos de matriz cerámica pueden unirse mediante uniones metálicas.

La unión más favorable se consigue por medio de tuerca y arandela cónica.

El diseño debe optimizarse en cuanto a tuercas y arandelas, (materiales y geometría en función de los materiales a unir).

5.- BIBLIOGRAFIA

1. SCHUTZ, D: "Design of bolted joints in composites" AGARD N° 727 1990.
2. MESSLER, R.W: "Joining advanced materials". Advanced Materials & Processes pp47-50 1995.
3. J. ANDIKOETXEA: "Uniones de materiales CMC" Publicación interna ITP.

4. KLIME, L.A: "Bolting alloy fills high temperature gap". Advanced Materials & Processes pp33-35 1995.

6.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Industria de Turbo Propulsores, S.A. Los resultados son propiedad de ITP, S.A. y no pueden ser utilizados sin su autorización.