

G. Morales, M. E. Puig^a^a Engineering Dept, ALESTIS AEROSPACE, La Rinconada, 41309, Seville, Spain

Uso de materiales compuestos en sellos aerodinámicos

RESUMEN

Historia del artículo:

Recibido 5 de Mayo 2017

En la versión revisada 5 de Mayo 2017

Aceptado 31 de Mayo 2017

Accesible online 21 de Junio 2017

Palabras clave:

Sello aerodinámico

Refuerzo

Este trabajo describe la utilización de materiales compuestos en la fabricación de sellos aerodinámicos. Concretamente se revisa el diseño de los sellos entre el ala y la carena ventral, realizados por ALESTIS AEROSPACE, para el avión A350 XWB. En el proceso se han realizado simulaciones FEM y ensayos para obtener los niveles de rigidez requeridos por las especificaciones aerodinámicas.

Estos ensayos se hacen para encontrar el equilibrio adecuado entre rigidez y adaptabilidad de los sellos a la geometría del ala, y el cumplimiento de las condiciones de contorno impuestas por la diferencia de presión entre el interior de la carena ventral y el exterior (presión estática y dinámica).

Debido a la variación de las condiciones de contorno del sello, tanto en niveles de presión como en desplazamientos a absorber, además de los requerimientos de vida, los materiales utilizados proporcionan diferentes grados de rigidez:

- Matriz: silicona
- Refuerzos:
 - Tejido de poliéster
 - Tejido de fibra de vidrio
 - Material compuesto de vidrio
 - Matriz: resina de poliéster
 - Refuerzo: tejido de vidrio
- Acabado: tejido de poliéster con tratamiento de baja fricción

El uso de las combinaciones adecuadas de materiales permite obtener sellos más ligeros y eficientes.

Use of composite materials in aerodynamic seals

ABSTRACT

Keywords:

Aerodynamic seal

Reinforcement

This paper describes the use of composite materials in the manufacture of aerodynamic seals. Specifically, the design of the seals between the wing and the belly fairing, made by ALESTIS AEROSPACE, is reviewed for the A350 XWB. In the process, FEM simulations and tests have been performed to obtain the levels of stiffness required by the aerodynamic specifications.

These tests are made to find the right balance between stiffness and adaptability of the seals to the wing geometry, and compliance with the boundary conditions imposed by the pressure difference between the interior of the belly fairing and the exterior (static and dynamic pressure).

Due to the variation of seal boundary conditions, both pressure levels and displacements to be absorbed, in addition to the life requirements, the materials used provide different degrees of rigidity:

- Matrix: silicone
- Reinforcements:
 - Polyester fabric
 - Fiberglass fabric
 - Glass composite material
 - Matrix: polyester resin
 - Reinforcement: glass fabric
- Finish: polyester fabric with low friction treatment

The use of suitable combinations of materials allows for lighter and more efficient seals.

1 Introducción

Los sellos aerodinámicos utilizados en aviación son un claro ejemplo de material compuesto, en el que se combinan una matriz de silicona con diferentes refuerzos, que pueden ser tejidos, insertos de matrices pre-curadas, reforzadas a su vez con tejidos de diferentes materiales, capas de materiales preimpregnados que polimerizarán durante el vulcanizado de la silicona, insertos de materiales metálicos, etc.

Los sellos estándar, de sección constante, que se utilizan en otros aviones, requieren que se dimensionen para las condiciones de contorno más desfavorables del perfil a sellar, es decir, para el mayor desplazamiento que han de absorber y la mayor presión que han de soportar. Resultando en sellos mayores y más rígidos. Con el diseño de sellos de sección variable, puede reducirse el tamaño de los mismos, y adaptar el refuerzo a los requerimientos de cada sección. El aumento en el coste de los mismos se verá compensado por la reducción de peso conseguida.

Además, la utilización de refuerzos de material compuesto precurado, con matriz de poliéster permite aportar elevados niveles de rigidez, permitiendo reducir el espesor de la sección del sello, lo que nos aportará un menor peso y una reducción de los saltos, suavizando la transición entre superficies, reduciendo por tanto la resistencia aerodinámica del conjunto.

2 Condiciones de contorno

El interfaz entre el ala y la carena ventral debe sellarse, para mejorar la sustentación, por lo que es necesario colocar un sello aerodinámico en la zona. Ese sello debe soportar las diferencias de presión entre el interior y el exterior, que en este caso, al estar en el extrados del ala, tienen valores máximos de succión hacia el exterior de la carena ventral, aunque también existen casos de carga en los que el sello debe soportar presiones positivas hacia el interior de la carena.

Además el sello debe ser capaz de adaptarse a los desplazamientos relativos entre los dos componentes que une. Estos desplazamientos relativos deberán haberse calculado teniendo en cuenta las tolerancias, no sólo las de fabricación de las partes, sino también las de montaje de cada uno de los componentes, y harán que los huecos a sellar se vean incrementados frente a los que nominalmente deberían considerarse.

El continuo movimiento relativo entre el sello y el ala, debido a los cambios de presión y las deformaciones que se producen en las distintas actuaciones del avión requerirá que el acabado del sello tenga un tratamiento antifricción, para que no se dañen las superficies de contacto.

A lo largo del ala, la carena ventral está dividida en diferentes paneles, dispuestos para permitir las tareas de mantenimiento de los equipos instalados en su interior. Esos paneles deben permitir su fácil montaje y desmontaje, con lo que el sello a instalar respetará esta división en paneles, y por tanto no podrá ser de una única pieza.



Figura 1. Localización del sello

2.1 Efecto de borde

Los cortes entre los paneles hacen que en los extremos de los sellos haya una discontinuidad. Para caracterizarla, se ha hecho un modelo en el que se ha aplicado una carga unidad en la mitad de un sello y la misma carga en el extremo del mismo. Los resultados del modelo pueden verse en la Figura 2: la carga aplicada en el extremo del sello da lugar a una deformación que es el doble de la que genera la misma carga aplicada en la mitad del sello.

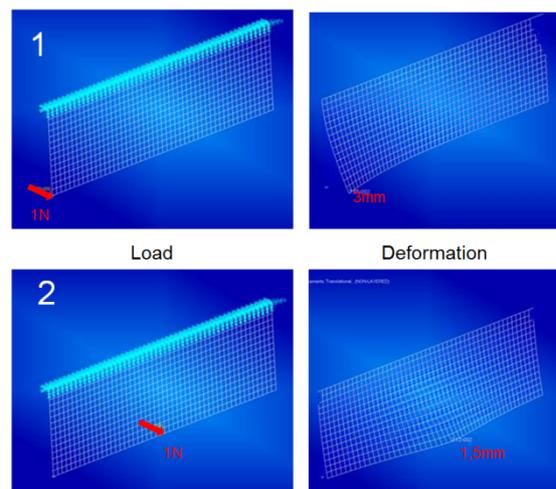


Figura 2. Variación de la deformación en función del punto de aplicación de la carga

En ensayos en vuelo se ha verificado que los extremos de los sellos requieren un mayor refuerzo para mitigar este efecto, y garantizar que no flamearán.

2.2 Instalación de los paneles

Los requerimientos para los sellos no sólo son restricciones físicas, sino que también hay limitaciones funcionales debidas a las tareas de mantenimiento del avión.

Hay una limitación adicional a la que tenemos que hacer frente: la fuerza necesaria para instalar el panel en el avión. Un sello extremadamente rígido requerirá una gran fuerza de instalación, con lo que se elevará el número de operarios requeridos para instalarlo, penalizando las tareas de mantenimiento del avión. Por tanto debe limitarse esta fuerza, reduciendo los refuerzos al nivel y localización estrictamente necesarios.



3 Diseño de los refuerzos

Se necesitan una serie de refuerzos para que el sello aguante las condiciones de contorno a las que está sometido. Estas condiciones de contorno suponen características del sello contrapuestas: para cumplir unos se necesita aumentar la rigidez, pero para cumplir otros en cambio se necesita que el sello sea más flexible.

Una forma de conseguir satisfacer los requerimientos es trabajar con la rigidez del sello según la dirección de deformación. Podemos diseñar los refuerzos para que la rigidez en sentido longitudinal sea mayor que en sentido transversal, de manera que la fuerza para instalar el sello se mantenga limitada (deformación transversal), pero que en caso de que una zona del sello tienda a flamear, la rigidez en sentido longitudinal lo impida. Para conseguir esto, se dispondrán en el sello refuerzos independientes, colocados en sentido longitudinal.

3.1 Materiales y fabricación

Los materiales utilizados para la fabricación de los sellos estudiados son:

- Silicona de diferente dureza según la aplicación necesaria.
- Tejido de poliéster
- Tejido de poliéster antifricción utilizado en la cara en contacto con el ala
- Refuerzo de fibra de vidrio tipo E
- Prepreg de fibra de vidrio tipo E precurado o cocurado con la silicona durante el proceso de vulcanizado.

Todos los materiales utilizados deben estar previamente calificados para su uso en aeronáutica por el fabricante de la aeronave.

Este tipo de sellos se fabrican de forma habitual por moldeo. Para ello se van introduciendo las distintas capas en forma de apilado, de forma similar a los apilados de CFRP. Los diversos refuerzos utilizados son, en su mayor parte, laminados en una calandra con la silicona que hace de matriz, de forma que se apilan dentro del molde de forma similar a un prepreg.

Una vez que están todas las capas posicionadas, se cierra el molde a presión y se cura con calor (normalmente en prensa de platos calientes). Es habitual aplicar un postcurado posterior para obtener un mejor resultado.

3.2 Configuraciones analizadas

Aunque existen herramientas para simular el comportamiento de este tipo de materiales compuestos, debido a la heterogeneidad de materiales utilizados, las grandes deformaciones presentes y la influencia del proceso de fabricación, la forma más fiable de caracterizarlos es el ensayo de prototipos.

Para los sellos que nos ocupan, se definieron varias configuraciones, de las que se fabricaron los prototipos y se sometieron a ensayos de compresión simple, para obtener la curva de carga-desplazamiento en todo el rango de utilización de los sellos. También se realizaron ensayos para determinar la fuerza necesaria para levantar una sección del sello.

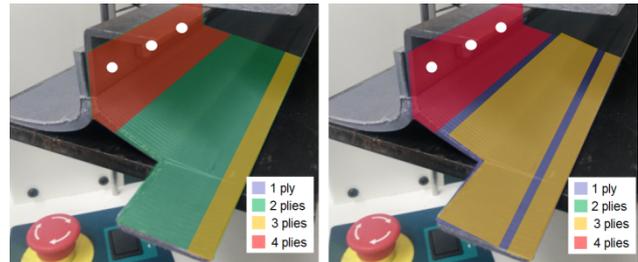


Figura 3. Diferentes configuraciones de refuerzo ensayadas.



Figura 4. Ensayo para determinar la carga para levantar el sello

Adicionalmente a los ensayos mecánicos, se realizan ensayos de fuga, instalando el sello en una caja de presión, en la que se somete al sello a los valores máximos y mínimos de compresión y presión. De esta forma se verifica que el nivel de fuga no supera los valores requeridos, evitando así la aparición de vibraciones y ruido en vuelo.

3.3 Configuración validada

Los distintos ensayos realizados van guiando la disposición final de los refuerzos, llegándose a la siguiente definición:

- Refuerzo de compuesto en la cogida del sello al panel, que evita la rotación del sello ante cargas no simétricas, y mejora la transmisión de la carga de los bulones de cogida.
- Refuerzo de compuesto en la punta del sello, que permite diseñar una punta del sello de pequeño espesor, pero estable ante posibles flameos.
- Refuerzos de compuesto en los extremos del sello, para evitar el efecto de borde, sin tener que aumentar el espesor de las secciones extremas.

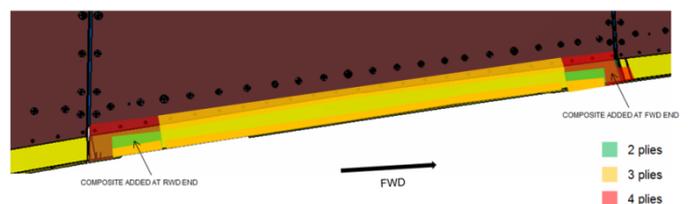


Figura 5. Configuración de refuerzos en los extremos del sello.

En el resto de zonas del sello, la silicona se refuerza con telas de vidrio, consiguiendo así la flexibilidad necesaria para que el sello pueda absorber los desplazamientos entre ala y carena ventral, y se adapte a la curvatura de las superficies.

En esta línea los refuerzos de los extremos incluirán un mayor número de telas en la zona cercana al extremo del sello, y se reducirá hacia el interior del mismo.



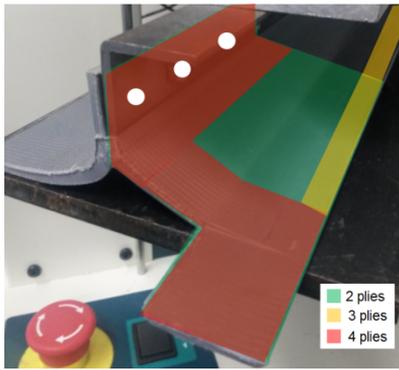


Figura 6. Detalle de la configuración de refuerzos en los extremos del sello.

4 Conclusiones

La utilización de sellos de geometría variable y con refuerzos adaptados a los requerimientos de cada una de las secciones del sello, permite obtener sellos más ligeros y eficientes.

Para lograr esa adaptabilidad, los materiales compuestos son ideales, pues nos van a permitir conseguir variaciones en la rigidez del sello para adaptarse a los requerimientos cambiantes a lo largo de la interfaz a sellar, sin requerir cambios en los espesores de las secciones, que empeorarían la aerodinámica.

Agradecimientos

Agradecimiento a los equipos de ICON AEROSPACE TECHNOLOGY y AIRBUS España por el apoyo prestado en el desarrollo de los sellos.

Referencias

- [1] Composites. *ASM Handbook Volume 21* (2016). Ed. ASM International
- [2] W. Lynch. *Handbook of Silicone Rubber Fabrication* (1978). Ed. Van Nostrand Reinhold. ISBN 9780442249625

