



Doctoral Thesis

Morphing wing based on compliant elements

Author(s):

Previtali, Francesco

Publication Date:

2015

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010546627> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 22705

A dissertation submitted to attain the degree of
Doctor of science of ETH Zürich
(Dr. sc. ETH Zürich)

MORPHING WING BASED ON COMPLIANT ELEMENTS

presented by
FRANCESCO PREVITALI
MSc Aeronautical Engineering, Politecnico di Milano
born July 28, 1983
citizen of Italy

accepted on recommendation from
Prof. Dr. Paolo Ermanni, examiner
Prof. Dr. Paul Weaver, co-examiner
Dr. Andres F. Arrieta, co-examiner

2015

Abstract

Morphing wings have a high potential for improving the performance and reducing the fuel consumption of modern aircraft. Yet, weight and complexity penalties limit the applicability of such concepts to research applications. Owing to their efficiency and simplicity, selectively compliant structures are regarded as a possible solution.

To identify the challenges connected with the design of morphing wing solutions, an existing 2D compliant morphing rib structure is implemented into a 3D wing design. The results indicate the adverse effect on the obtained performance of 3D coupling phenomena and of discrepancies in the obtained shape.

To address the identified limitations, the morphing concept is modified by introducing a compliant element in the skin and by developing a new three-dimensional, aero-structural design approach. The results at different design speeds indicate that the wing can produce a considerable roll controllability. To provide further insight of the advantages and disadvantages of the morphing solution, the obtained performance is compared to the one of a conventional wing.

As morphing skins are identified as critical structural elements, the optimal structural properties of a generic passive morphing skin design are investigated. Particularly, the results indicate the need for a high anisotropy, both between membrane and flexural properties and between the skin's principal directions.

Based on the obtained results, a novel, doubly corrugated morphing skin is introduced. Numerical and experimental tests show that the proposed skin features an exceptional ratio between the axial and the bending stiffness in the compliant direction. Parametric results obtained with nonlinear concurrent optimisations indicate that the double corrugation can potentially address the conflicting requirements of morphing skins.

To offset the aerodynamic penalty of the non-smooth profile, the corrugation is covered with an electro-bonded, continuous skin. Furthermore, the obtained semi-active system is able to increase the dissipative properties of

the structure, thus preventing the occurrence of large vibrations connected with the highly compliant deformation modes.

The effectiveness of the double corrugation as morphing skin is demonstrated by designing, manufacturing, and testing a morphing wing. The results indicate that the wing has a lower or equivalent weight compared to conventional wings. Wind tunnel tests show that the shape changes occur in an aerodynamic efficient way and that the achieved controllability allows for replacing conventional ailerons.

Zusammenfassung

Adaptive Flügel haben ein hohes Potenzial für die Verbesserung der Leistung und Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von modernen Flugzeugen. Das höhere Gewicht und die Komplexität begrenzen jedoch die Anwendbarkeit solcher Konzepte auf Forschungsprojekte. Aufgrund ihrer Effizienz und Einfachheit werden selektiv nachgiebige Strukturen als eine mögliche Lösung angesehen.

Um die Herausforderungen bei der Gestaltung von Adaptivflügel-Lösungen zu identifizieren, wird eine vorhandene 2D nachgiebige Rippenstruktur in ein 3D-Flügel-Design implementiert. Die Ergebnisse zeigen den nachteiligen Effekt des 3D Kopplungsphänomens und der Abweichungen in der entstandenen Form auf die erreichte Leistung.

Um die festgestellten Beschränkungen anzugehen, wird das Adaptivflügel-Konzept durch ein nachgiebiges Element in der Haut und durch die Entwicklung einer neuen dreidimensionalen, aerostrukturellen Designmethode weiterentwickelt. Die Ergebnisse bei verschiedenen Designgeschwindigkeiten zeigen, dass der Flügel eine gute Rollsteuerbarkeit generieren kann. Um einen besseren Einblick in die Vor- und Nachteile der Adaptivflügel-Lösung zu erlangen, wird die erreichte Leistung mit der eines konventionellen Flügels verglichen.

Da *Morphing Skins* (Adaptive Flugzeugschalen) kritische Strukturelemente darstellen, werden die optimalen strukturellen Eigenschaften eines generischen, passiven *Morphing Skin* Designs untersucht. Insbesondere zeigen die Ergebnisse die Notwendigkeit für eine hohe Anisotropie, sowohl zwischen Membran und Biegeeigenschaften sowie zwischen den Haupttrichtungen.

Basierend auf den erreichten Ergebnissen wird ein neuartiges, doppelgewelltes *Morphing Skin* Konzept eingeführt. Numerische und experimentelle Untersuchungen zeigen, dass das entwickelte *Morphing Skin* ein außergewöhnliches Verhältnis zwischen der Axial- und Biegesteifigkeit in der nachgiebigen Richtung bietet. Parametrische Ergebnisse von nichtlinearen

Optimierungen zeigen, dass die entwickelte Lösung die widersprüchlichen Anforderungen des *Morphing Skins* erfüllen kann.

Um den höheren aerodynamischen Widerstand des nicht glatten Profils zu vermeiden, wird die Riffelung mit einer elektro-gebundenen, kontinuierlichen Folie abgedeckt. Darüber hinaus erlaubt das semiaktive System die dissipativen Eigenschaften der Struktur zu erhöhen, um die Vibrationen von hochnachgiebigen Deformationsmodi zu vermeiden.

Das Potenzial des entwickelten *Morphing Skin* wird durch die Gestaltung, Herstellung und Prüfung eines Adaptivflügels gezeigt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Flügel ein geringeres oder äquivalentes Gewicht im Vergleich zu konventionellen Flügeln aufweist. Windkanaltests zeigen, dass die Formänderungen aerodynamisch effizient sind und dass die Steuerbarkeit das Ersetzen konventioneller Querruder ermöglicht.