LABELO

Laserstrukturierte Anti-Eis Beschichtung für Luftfahrt-Oberflächen

Programm / Ausschreibung	TAKE OFF, TAKE OFF, TAKEOFF Ausschreibung 2021	**Status**	laufend
Projektstart	01.10.2022	**Projektende**	30.09.2025
Zeitraum	2022 - 2025	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	Anti-Eis; SLIPS; HMDSO-Beschichtung; Laserstrukturierung; Simulation Vereisung		

Projektbeschreibung

An Luftfahrzeugen auftretende Vereisung von aerodynamischen Elementen kann das Flugverhalten negativ beeinflussen und je nach Eisanlagerung sogar zum Strömungsabriss führen. Daher sind Strategien zur Vereisungsprävention (anti-icing) und Enteisung (de-icing) wesentlich beim Betrieb von Fluggeräten. Zur Enteisung von Tragflächensektionen (meist die Vorderkante) werden verschiedene aktive Systeme verwendet. Pneumatisch versorgte, flexible Gummimatten (Boots) verändern bei Detektion von Eis durch Einleiten von Luft die Oberfläche und sprengen es dadurch ab. Thermische Systeme erwärmen bestimme Zonen, um diese eisfrei zu halten oder angelagertes Eis zu schmelzen. Sie werden entweder elektrisch beheizt oder mit Zapfluft aus dem Triebwerk versorgt. Bei chemischen Systemen wird ein Anti-Eis-Fluid auf die Flügeloberfläche gepumpt und ein dünner Film erzeugt, der die Eisbildung verhindert. Jedes dieser Systeme hat Nachteile: Zur thermischen Enteisung wird viel Energie benötigt, pneumatische Systeme sind sehr wartungsintensiv und beeinflussen die Aerodynamik negativ und chemische Enteisung führt zu einer zusätzlichen Gewichtsbelastung und einer begrenzten Einsatzdauer.
Ziel dieses Projekts ist es widerstandsfähige und hochwirksame passive Anti-Eis-Oberflächen durch die Kombination von drei Schlüsseltechnologien zu entwickeln und das Anwendungsgebiet von Anti-Eis Beschichtungen auf Propeller zu erweitern. Diese Erweiterung ist nicht nur für die bemannte Luftfahrt, sondern auch für die unbemannte Luftfahrt (Drohnen/Multikopter) von großer Bedeutung, wo vorhandene Energie und Gewicht insbesondere bei elektrisch betriebenen Drohnen einen bedeutenden Einfluss auf die Gesamtperformance haben. Die erste der drei Schlüsseltechnologien ist die Laserstrukturierung mittels Femtosekundenlaser, welche es ermöglicht, einerseits feine Nanostrukturen (LIPSS) und andererseits poröse Mikrostrukturen zu erzeugen. Diese Strukturen können die Oberflächeneigenschaften maßgeblich verändern und einen superhydrophoben oder eisphoben Effekt bewirken. Um diese Effekte zu verstärken, werden als zweite Schlüsseltechnologie funktionelle Nano-Beschichtungen auf Basis von Silanen eingesetzt. Die dritte Schlüsseltechnologie ist die Plasmabeschichtung, bei der zur Steigerung der Beständigkeit eine Hexamethyldisiloxan-Schicht (HMDSO) mittels Plasma appliziert wird. Weiters werden auf Basis der Laserstrukturierung auch regenerative Slippery Liquid Infused Porous Surfaces (SLIPS) untersucht. Dem negativen Effekt des Entleerens der SLIPS-Oberfläche wird durch eine aktive Fluidnachförderung entgegengewirkt. Dazu werden Mikrokanäle in die strukturierten Oberflächen lasergebohrt, und zwar so, dass diese von der Rückseite mit geringen Mengen verschiedener Fluiden versorgt werden können. Dies können SLIPS Öle sein oder auch Enteisungsfluide. Umweltaspekte, wie die biologische Abbaubarkeit und Wiederverwertbarkeit der

verwendeten Beschichtungsmaterialen, werden dabei berücksichtigt.
Um die Leistungsfähigkeit der in LABELO entwickelten Anti-Eis Beschichtungen zu beurteilen, werden experimentelle Vereisungstests mit verschiedenen Probekörpern durchgeführt. Dazu wird das Benetzungs- und Enteisungsverhalten gemessen, sowie Untersuchungen in einer aerodynamischen Umgebung im Eiskanal durchgeführt. Ausgewählte eisphobe Oberflächen werden abschließend an Rotoren aufgebracht und an einem Rotorprüfstand hochgradig dynamischen Vereisungsbedingungen ausgesetzt. Hier liegt der Fokus auf dem Eis-Shedding, also dem Ablösen von akkumuliertem Eis, als Funktion der entstehenden g-Kräfte. Der Unterschied in den benötigten g-Kräften zwischen Referenz und Probe ist ein direktes Maß der Effizienz des neuen Systems. Neben den experimentellen Arbeiten wird die Eisentstehung und Anhaftung auch theoretisch betrachtet. Die numerische Simulation von Benetzungs- und Vereisungsvorgängen ist ein wichtiger Teil dieses Projekts. Dabei sollen bestehende Simulationsmodelle verbessert und erweitert werden, um künftig bessere Vorhersagen über Vereisungsprozesse und -verhalten machen zu können. Für die Validierung der Simulationen werden die Ergebnisse der experimentellen Versuche herangezogen.

Abstract

Icing of aerodynamic elements on aircraft can have a negative effect on flight and, depending on the accumulation of ice, can even lead to stalling. Anti-icing and de-icing strategies are therefore essential when operating aircraft. Various active systems are used to de-ice wing sections (usually the leading edge). Pneumatically supplied, flexible rubber mats (boots) change the surface when ice is detected by introducing air and thereby blowing it off. Thermal systems heat certain zones to keep them free of ice or to melt accumulated ice. They are either electrically heated or supplied with bleed air from the engine. With chemical systems, an anti-icing fluid is pumped onto the wing surface, creating a thin film that prevents ice formation. Each of these systems has disadvantages: a lot of energy is required for thermal de-icing, pneumatic systems are very maintenance-intensive and have a negative effect on aerodynamics, and chemical de-icing leads to additional weight loading and a limited range in critical conditions.
The aim of this project is to develop resistant and highly effective passive anti-icing surfaces by combining three key technologies and to expand the field of application of anti-icing coatings to propellers. This is not only of great importance for manned aviation, but also for unmanned aviation (drones/multicopters), where the available energy and weight have a significant influence on the overall performance, especially in electrically operated drones. The first of the three key technologies is laser structuring using a femtosecond laser, which makes it possible to create nanostructures (LIPSS) on the one hand and porous microstructures on the other. These structures can significantly change the surface properties and cause a superhydrophobic or icephobic effect. To enhance these effects, functional nano-coatings based on silanes are used as a second key technology. The third key technology is plasma coating, in which an Hexamethyldisiloxane layer (HMDSO) is applied using plasma to increase durability. Furthermore, regenerative Slippery Liquid Infused Porous Surfaces (SLIPS) are also investigated on the basis of laser structures. The negative effect of emptying the SLIPS surface is counteracted by active fluid replenishment. For this purpose, micro-channels are laser-drilled into the structured surfaces in such a way that they can be supplied with small amounts of different fluids from the rear. This can be SLIPS oils or de-icing fluids. Environmental aspects such as the biodegradability and recyclability of the coating materials used are taken into account.
In order to assess the performance of the anti-ice coatings developed in LABELO, experimental icing tests are carried out with various test specimens. For this purpose, the wetting and de-icing behavior is measured, and investigations are carried out in an aerodynamic environment in the icing wind tunnel. Furthermore, selected ice-phobic surfaces are applied to rotors and subjected to highly dynamic icing conditions on a rotor test bench. The focus here is on ice shedding, i.e. the detachment of accumulated ice, as a function of the resulting g-forces. The difference in required g-forces between

reference and sample is a direct measure of the efficiency of the new system. In addition to the experimental work, ice formation and adhesion are also considered theoretically. The numerical simulation of wetting and icing processes is an important part of this project. Existing simulation models are to be improved and expanded in order to be able to make better predictions about icing processes and behavior in the future. The results of the experimental tests are used to validate the simulations.

Projektkoordinator

- Technische Universität Wien

Projektpartner

- FH JOANNEUM Gesellschaft mbH
- Aerospace & Advanced Composites GmbH
- INOCON Technologie GmbH
- Österreichisches Institut für Vereisungswissenschaften in der Luftfahrt (Alls)