

LaSPAM

Novel postprocessing for fatigue and hydrogen resistance of Additive Manufacturing aircraft materials

Programm / Ausschreibung	TAKE OFF, TAKE OFF, TAKEOFF Ausschreibung 2021 (KP)	Status	abgeschlossen
Projektstart	02.08.2021	Projektende	30.09.2022
Zeitraum	2021 - 2022	Projektlaufzeit	14 Monate
Keywords	additive manufacturing; laser shock peening; postprocessing; fatigue; hydrogen embrittlement;		

Projektbeschreibung

In den letzten zwei Jahrzehnten haben Additive Manufacturing (AM)-Technologien den Konstrukteuren von Flugzeugsystemen und Komponentenherstellern enorme Möglichkeiten geboten. Die beispiellosen Konstruktionskapazitäten von AM führen zu einer signifikanten Verringerung des "Buy-to-Fly"-Verhältnisses, was sich auf die Produktionskosten, die Rohstoffeffizienz und den Triebwerksverbrauch auswirkt, was wiederum zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen führt. Die Zertifizierung der Strukturbauteile für den Einsatz in Flugzeugen, sowohl für Flugzeugstrukturen als auch für Triebwerkskomponenten, wird jedoch durch die unzureichende Leistungsfähigkeit von AM-Materialien im Fertigungszustand unter dynamischen Belastungen erschwert. Die erforderliche Nachbearbeitung von AM in Form von Zerspanung und diversen Wärme-/Druckbehandlungen zur Verbesserung dieser Leistung erhöht die Produktionszeit, die Kosten und den Energieaufwand erheblich.

Aktuelle Studien zeigen, dass das Laser Shock Peening (LSP) als Oberflächenbehandlung und Nachbearbeitungstechnologie einen signifikanten Einfluss auf die AM-Materialeigenschaften ausüben kann, indem es beispielsweise das Ermüdungsverhalten von AM-gefertigtem Titan bis zum 100-fachen erhöht. LSP prägt eine strukturelle Modifikation der Probe ein, von der Oberfläche bis zu einer bestimmten Tiefe (bis zu 10 mm), was eine relevante Veränderung der Materialeigenschaften bewirkt. LSP induziert eine hochenergetische kurzintervallige Stoßwelle in der Oberfläche des Materials bis zu einer bestimmten Tiefe, wodurch die Eigenspannungen und die Oberflächenrauigkeit deutlich reduziert, die Poren verschlossen und die oberflächliche Mikrostruktur modifiziert werden. Auf diese Weise erhöht LSP die Widerstandsfähigkeit von AM-Materialien im eingebauten Zustand gegen Ermüdung und Wasserstoffinfiltration. Beide Effekte können für Flugzeuganwendungen sehr relevant sein, da das Verhalten unter dynamischen Belastungen die derzeitige Hauptherausforderung bei der Einführung von AM-Bauteilen in Flugzeugsystemen darstellt, während die Wasserstoffinfiltration in einem zukünftigen wasserstoffbetriebenen, klimaneutralen Flugzeugtriebwerk eine große Herausforderung darstellen wird.

LaSPAM plant eine umfassende Studie über den LSP-Effekt auf AM-gefertigte Materialien, die für Flugzeuganwendungen relevant sind:

- Aluminiumlegierung für Strukturkomponenten der Flugzeugzelle und
- Titanlegierung für Zelle und Triebwerkskomponenten

Das Ziel dieser Studie ist die Quantifizierung der Verbesserung der Ermüdungsleistung von Aluminium und der Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung durch LSP sowie die Analyse der Relevanz von LSP als Nachbearbeitungstechnologie für AM-Teile.

Um diese übergeordneten Ziele zu erreichen, ist das Erreichen der folgenden zwei spezifischen Ziele oder Meilensteine vorgesehen:

- Analyse der Anforderungen in Flugzeugbauteilen und Definition der Key Performance Indicators (KPI) zur Quantifizierung der durch LSP erzielten Verbesserung. Dies wird es ermöglichen, zu definieren, in welchen speziellen Anwendungen im Bereich der Flugzeugsysteme, in denen AM bereits ein großes Potenzial bewiesen hat, der kombinierte Einsatz von LSP und AM einen signifikanten Nutzen bringen kann.
- Definition und Durchführung der spezifischen Testverfahren zur Validierung des LSP-Einflusses auf die zuvor definierten KPI. Dies wird darauf ausgerichtet sein, die durch die LSP-Behandlung eingeführte Verbesserung im Vergleich zu den unbehandelten Materialproben zu demonstrieren. Es wird die Typologie der Probe, die Entwicklung von Testprotokollen und die erwarteten Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Luftfahrtnormen definieren.

Abstract

In last two decades, Additive Manufacturing (AM) technologies have offered new opportunities to aircraft system designers and component manufacturers. The unprecedented design capacities of AM lead to a significant reduction of the buy-to-fly ratio, which makes an impact on production costs, raw material efficiency and engine consumption - with a consequent reduction in greenhouse emissions. However, the certification of the structural components for aircraft application, for both airframe and engine components, is hampered by the underperformance of as-built AM materials under dynamic loads. The required post-processing of AM in form of machining and diverse heat/pressure treatments to improve this performance significantly increase production time, cost, and energy consumption.

Recent studies are showing that the Laser Shock Peening (LSP) technology, as a surface treatment and post-processing technology, can exert a significant influence on AM material properties, by for example increasing the fatigue behavior of AM-made Ti-6Al-4V up to 100 times. LSP imprints a structural modification of the sample, from the surface up to a determined depth (up to 10mm), which causes a relevant change in the material properties. LSP induces a high-energy short-interval shock wave up to certain depth of the material, reducing significantly the residual tensile stresses, surface roughness, sealing the pores and modifying the superficial microstructure. In this way, LSP increases resistance of AM as-built materials to fatigue and further on may reduce hydrogen infiltration. Both effects are very relevant for aircraft applications since the behaviour under dynamic loads represents the main present challenge in the uptake of AM parts in aircraft systems, while hydrogen infiltration will bring significant challenge in a future hydrogen-powered climate-neutral aircraft engine.

LaSPAM is planning to conduct a comprehensive study of the LSP effect on AM-made materials of relevance for the aircraft applications:

- Aluminium alloy for airframe structural components and
- Titanium alloy for airframe and engine components

The aim of this study is evaluation of LSP as post-processing technology in AM parts by the quantification of:

- the improvement in terms of the fatigue performance in aluminium
- the resistance to hydrogen embrittlement effect in titanium

In line with that, the following two specific goals or milestones are foreseen:

- Analysis of the requirements for aircraft components and definition of the Key Performance Indicators (KPI) to quantify the improvement brought by LSP. This will allow selection of particular applications within the scope of aircraft systems, where

AM has already proven the huge potential, where the combined use of LSP and AM can bring significant benefit.

- Definition and conduction of the specific test procedures to validate the LSP influence on the previously defined KPI. This will be oriented to demonstrate the improvement introduced by the LSP treatment in comparison to the untreated material samples. It will define the typology of the sample, development of testing protocols and expected results in accordance with the aeronautical standards.

Projektkoordinator

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Projektpartner

- Technische Universität Graz
- Czech Academy of Sciences Institute of Physics (FZU)