

## HYPER-AMP

Hydrogen-combustion improved performance systems enabled by advanced metal powder processing

<b>Programm / Ausschreibung</b>	KLWPT 24/26, KLWPT 24/26, Advanced Materials, M-ERA.NET Call 2025	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.07.2026	<b>Projektende</b>	30.06.2029
<b>Zeitraum</b>	2026 - 2029	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Projektförderung</b>	€ 346.829		
<b>Keywords</b>	Hydrogen, Critical raw materials, Energy harvesting, Energy Efficiency, Life time assessment, Materials Safety, Modelling, Powder Metallurgy, Additive Manufacturing, Materials design, Combustion, High temperature, Manufacturing technologies, Sinterin		

### Projektbeschreibung

Das Projekt entwickelt Wasserstoff-kompatible Komponenten auf Basis fortschrittlicher Werkstoffe sowie innovativer Pulvermetallurgie- und additiver Fertigungstechnologien, insbesondere Metallspritzguss (Metal Injection Moulding, MIM) und Lithography-based Metal Manufacturing (LMM). Diese Verfahren ermöglichen komplexe Geometrien mit engen Toleranzen, hoher Oberflächenqualität und kontrollierter Mikrostruktur, essenziell für Bauteile in Hochtemperatur- und wasserstoffreichen Umgebungen wie Gasturbinen.

Der Fokus liegt auf der Entwicklung von 247-Legierungs-basierten Feedstocks für sinterbasierte MIM- und LMM-Prozesse sowie auf der Optimierung von Entbinderungs- und Sinterprozessen. Die Arbeiten adressieren die wichtigsten Herausforderungen hoch- $\gamma'$ -haltiger Nickelbasis-Superlegierungen: stabile  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen, geringe Kontaminationen und hohe Enddichten bei minimaler Porosität und Rissbildung. Das Projekt etabliert robuste, reproduzierbare Prozessketten, die die für wasserstoffbetriebene Turbinen notwendige Maßhaltigkeit und Mikrostruktur gewährleisten.

Die Validierung erfolgt unter realistischen Einsatzbedingungen, darunter Hochtemperaturbelastung, thermische Zyklen, Oxidationsbeständigkeit und Wasserstoffversprödung. Thermodynamische und CFD-Simulationen unterstützen die Entwicklung, um optimale Material- und Prozessparameter sicherzustellen.

Ausgehend von TRL 2-4 wird TRL 5 angestrebt, indem funktionsfähige Komponenten aus optimierten Legierungen und Prozessen unter Bedingungen der Wasserstoffverbrennung demonstriert werden. Neben der Materialbeständigkeit ermöglichen die Technologien komplexe Designlösungen für aktuelle Herausforderungen in  $H_2$ -Verbrennungssystemen und adressieren den Bedarf an effizienten, skalierbaren und abfallarmen Fertigungskonzepten.

Der Projekterfolg stärkt sinterbasierte Pulvermetallurgie und additive Fertigung als Alternative zu schmelzbasierten AM-Verfahren, die aufgrund des hohen  $\gamma'$ -Gehalts von Alloy 247 und der bei diesen Verfahren auftretenden Rissbildung und Anisotropie der Materialeigenschaften nicht durchführbar sind. Durch die lokale Entwicklung und Produktion unterstützt das Projekt europäische Ziele in den Bereichen Energiesicherheit, industrielle Innovation, Klimaneutralität sowie Nachhaltigkeit und vertieft das Verständnis von Wasserstoff-Material-Interaktionen und deren Minderung durch Prozess- und

Mikrostrukturkontrolle.

## Abstract

The project aims to develop hydrogen-compatible components using advanced materials and innovative powder metallurgy and additive manufacturing technologies, specifically Metal Injection Moulding (MIM) and Lithography-based Metal Manufacturing (LMM). These processes offer advantages in producing complex geometries with tight tolerances, superior surface finish, and controlled microstructures—features essential for components operating in high-temperature, hydrogen-rich environments such as gas turbines and internal combustion engines.

The main innovation lies in the integrated development of Alloy 247 feedstocks tailored for sinter-based MIM and LMM processing, together with the design and optimisation of controlled debinding and sintering routes. The work will target key processing challenges associated with high- $\gamma'$  Ni-based superalloys: maintaining a stable  $\gamma/\gamma'$  microstructure, reducing contamination during debinding (including catalytic debinding), and achieving high final density while minimising porosity and cracking. The project will establish robust, repeatable MIM and LMM process chains capable of producing components with the dimensional tolerances and microstructural stability required for hydrogen-fuelled turbine environments.

Performance will be validated under service-relevant conditions, including high-temperature mechanical loading (static strength and creep), thermal cycling, oxidation resistance, and hydrogen-embrittlement tolerance, all of which are intensified under hydrogen combustion. Thermodynamic simulations and holistic CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations will guide development of the feedstock and the establishment of robust debinding and sintering processes to ensure final component properties meet the stringent performance requirements of hydrogen systems.

Starting at TRL 2–4, the project targets TRL 5 by demonstrating functional components manufactured with optimised alloys and processes under conditions relevant to hydrogen combustion. In addition to improved durability through material engineering, these components will exploit manufacturing capabilities for complex geometries, enabling innovative design concepts to address current challenges in  $H_2$  combustion systems. The work meets increasing demand for efficient, scalable, low-waste manufacturing aligned with decarbonisation objectives and the transition to clean hydrogen, while reducing reliance on conventional routes unable to achieve the geometrical complexity and performance targets required for next-generation components.

Successful completion will contribute to establishing sinter-based powder metallurgy and additive manufacturing technologies as a viable alternative to fusion-based AM processes, which are not suitable for reliable processing of Alloy 247 due to its high  $\gamma'$  content and susceptibility to cracking, residual stresses, and property anisotropy.

By strengthening Europe's capacity to produce high-performance hydrogen components domestically, the project supports EU priorities in energy security, clean industrial innovation, and climate neutrality. It also promotes sustainability through material efficiency and waste reduction and advances scientific understanding of hydrogen-material interactions and their mitigation through process and microstructural control.

## Projektpartner

- Incus GmbH