

KURZBERICHT

Mechanische Oberflächennachbehandlung additiv gefertigter, metallischer Komponenten zur gezielten Steigerung der Ermüdungsfestigkeit (AM Oberfläche)

Einleitung

Additive Fertigung (AM) ermöglicht die Herstellung hochbelasteter Metallbauteile mit komplexen Geometrien – besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Die Oberflächenqualität von AM-Bauteilen ist jedoch im *As-printed*-Zustand oft unzureichend; oberflächennahe Defekte wirken als Rissstarter und reduzieren die Ermüdungsfestigkeit drastisch.

Lösungsansatz

Durch gezielte mechanische Oberflächennachbehandlungen – Kugelstrahlen, Festwalzen und Diamantglätten – werden Druckeigenspannungen in die Randzone eingebracht, Rauheit reduziert und Porosität verringert. Im Projekt wurden praxisnahe, KMU-taugliche Auslegungs- und Bewertungsmethoden auf Basis der etablierten FKM-Richtlinien entwickelt.

Nutzen für KMU

- **Kosten- und zeiteffiziente Nachbehandlung:** Standard-Werkzeugmaschinen (Dreh-/Fräsmaschinen) können Festwalz- und Glättwerkzeuge direkt aufnehmen.
- **Direkte Integration in die Produkt-Design-Phase:** Die entwickelten KMU-tauglichen Auslegungs- und Bewertungsmethoden ermöglichen die Planung der Oberflächennachbehandlung bereits während der Bauteilkonstruktion.
- **Wettbewerbsfähigkeit:** Durch die gezielte Steigerung der Ermüdungsfestigkeit können KMU neue Märkte in sicherheitsrelevanten Bereichen (Luft-/Raumfahrt, Automotive, Energie) erschließen.

Ergebnisse im Einzelnen

Systematische Prozessoptimierung

- Prozessparameter für Kugelstrahlen, Festwalzen und Diamantglätten wurden mittels FE-Simulation und experimenteller Parameterstudien definiert.
- Resultierende Prozessfenster ermöglichen eine reproduzierbare Erhöhung der Randschichthärte und eine kontrollierte Einführung von Druckeigenspannungen.

Ermüdungsfestigkeitssteigerung

- Durch Nachbehandlung aus dem *As-built*-Zustand konnten die Schwingfestigkeiten von AlSi10Mg und 316L um 20–40 % gesteigert werden; bei gleichbleibender Last-



Abb. 1: Im Laser Powder Bed Fusion Verfahren gefertigte Ermüdungsproben aus AlSi10Mg: **AB** (as built); **KG** (as built + kugelgestrahlt), **SB** (spanend bearbeitet, d.h. abgedreht), **DG** (as built + diamantgeglättet), **SB+DG** (spanend bearbeitet + diamantgeglättet), **FW** (as built + festgewalzt), **SB+FW** (spanend bearbeitet + festgewalzt)

amplitude ergeben sich Lebensdauerszuwächse von mehreren Dekaden.

- Der größte relative Gewinn wird erreicht, wenn die Behandlung unmittelbar nach dem Druck erfolgt (*As-built*-Zustand).

Randschichtcharakterisierung

- Durch $\cos\alpha$ -Eigenspannungsmessungen, Härte- und Rauheitsprofile wurde gezeigt, dass die Nachbehandlung eine defektfreie Randschicht von 150–300 μm Tiefe erzeugt und die Porosität im oberflächennahen Bereich signifikant reduziert.

Bauteil-Validierung

- Topologieoptimierte Brackets und Biegebalken aus AlSi10Mg, Ti6Al4V und 316L wurden nachbehandelt und auf ihrer Lebensdauer bis Anriss geprüft.
- Die Lebensdauersteigerung gegenüber dem unbehandelten Zustand lag zwischen 165 % und 409 %.

Wirkmechanismen

- Kugelstrahlen und Festwalzen erzeugen durch Oberflächenverfestigung eine Druckeigenspannung; Diamantglätten reduziert die Rauigkeit, ohne die Porosität stark zu beeinflussen.
- Diese Effekte können in der Bauteilauslegung über die als Mittelspannung wirkenden Eigenspannungen in das FKM-basierte Bewertungskonzept integriert werden.

Am fem wurden die Arbeitspakete additive Probenherstellung mit 316L und AlSi10Mg, Bauteilcharakterisierung, mechanische Daten zur Prozesssimulation und Randschichtanalyse bearbeitet. **Für weitere Informationen zum Projekt und zu Kooperationsmöglichkeiten steht Ihnen Dr. Alexander Heiß zur Verfügung.**

Transfermaßnahmen

Publikationen

- Schubnell et al.: *A simple approach for the optimization of deep rolling and burnishing processes*, Production Engineering (2025).
- Keil et al.: *Optimization of surface characteristics of additively manufactured AlSi10Mg and 316L parts by means of shot peening*, Results in Surfaces and Interfaces (2025).

Konferenzen und Fachpräsentationen

- DGM Additive 2024: Beitrag zu mechanischer Oberflächennachbehandlung von AM-Bauteilen
- ICSP 2025: Vortrag über "Fatigue-strength enhancement through mechanical surface treatment"
- DVM Additive Fertigung 2025: Präsentation der erzielten Lebensdauersteigerungen und der entwickelten Auslegung-Guidelines.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 22833 N wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

IGF
INDUSTRIELLE
GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IGF 22833 N

1.2.2023 – 31.7.2025

PROJEKTBEGLEITENDER AUSSCHUSS

Airbus Central Research & Technology | Altair Engineering GmbH | August Mössner GmbH + Co. KG | Baublies AG | Ceranod Cunova GmbH | ECOROLL AG Werkzeugtechnik | Element22 GmbH | Headmade Materials GmbH | Hexagon AB | INPECA GmbH, BÖLLINGER GROUP | Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH | Liebherr Components | MAPAL Dr. Kress SE & Co. KG | Merkle CAE Solutions GmbH | MetShape GmbH | OSK-Kiefer GmbH | Rosswag GmbH | Sentenso GmbH | TE Automotive

FORSCHUNGSPARTNER

Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

ANSPRECHPARTNER

Dr. Alexander Heiß, heiss@fem-institute.com, +49 7171 1006-707

fem Forschungsinstitut, Katharinenstraße 13–17, 73525 Schwäbisch Gmünd, Deutschland