

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektinformationen

IGF-Nr.:	21227 N
Laufzeit:	05/2020 - 08/2022
Fördersumme:	613.553 EUR
Industrieleistungen:	207.294 EUR

Forschungseinrichtungen

- U. Duisburg-Essen, Lehrst. Fert.-techn.
- U. d. Saarlandes, Lehrst. f. Met. Werkst.
- Leibniz-Inst. f. Werkstofforient. Techn.

Projektbegleitender Ausschuss

- 3D MicroPrint GmbH ^{KMU}
- Aconity GmbH ^{KMU}
- Additive Works GmbH ^{KMU}
- AMAZEMET ^{KMU}
- Dt. Edelstahlw. Spec. St. GmbH & Co. KG
- Fit Produktion GmbH ^{KMU}
- Fraunhofer IPK Berlin
- Hoeganaes Corp. Europe GmbH
- Günter-Köhler-Institut, Ifw Jena
- Indutherm Gießtechnologie GmbH ^{KMU}
- KARL STORZ SE & Co. KG
- U. d. Saarl., Lehrst. f. Leichtbausysteme
- Linde AG
- MBFZ toolcraft GmbH ^{KMU}
- MegaTherm Elektromasch.b. GmbH ^{KMU}
- Mettler-Toledo GmbH
- Nanoval GmbH & Co. KG ^{KMU}
- Olympus Surgical Technologies Europe

- **Optimierg. addit. Fertigungsverf.**
- **Hochtechnologie-Materialien**

Laser-Strahlschmelzen amorpher Metallpulver – Entwicklung einer synergetischen Wertschöpfungskette durch Prozessoptimierung (LaSaM)

Die Herausforderung

Amorphe Metalle stellen eine innovative und für technische Anwendungen sehr potente Materialklasse dar. Sie verbinden die hohe Widerstandsfähigkeit von metallischen Werkstoffen mit hervorragenden elastischen Eigenschaften, die mit Kunststoffen vergleichbar sind. Die zur Herstellung notwendigen hohen Abkühlraten beschränken in Gussprozessen die Bauteilgröße auf einige Millimeter Durchmesser sowie die Komplexität der Bauteile. Die Additive Fertigung in Form des Laser-Strahlschmelzens (engl.: *Powder Bed Fusion of Metals using a Laser Beam*, kurz PBF-LB/M) erlaubt es, die bisherigen Restriktionen zu überwinden. Die schichtweise Fertigung und prozess-typisch hohen Abkühlraten können synergetisch genutzt werden, um einerseits komplexe und große amorphe Bauteile zu realisieren und andererseits die hohe Abkühlrate für einen technologischen Mehrwert zu funktionalisieren.

In dem vorausgegangenen IGF-Projekt OptMetGlas (IGF-Nr. 19927 N) wurde die Herstellbarkeit amorpher Metalle auf Zr-

Basis im PBF-LB/-Prozess erfolgreich demonstriert. Die mechanische Leistungsfähigkeit reicht nahezu an die gegossener Referenzproben heran. Es zeigten sich jedoch eigenschaftsbestimmende Abhängigkeiten vom Zustand des verwendeten Ausgangspulvers, die Qualität und Reproduzierbarkeit der Erzeugnisse maßgeblich beeinflussen.

Die Idee des Innovationsprojekts

Ziel des IGF-Projekts LaSaM war es, ein verlässliches industrielles Herstellungsverfahren mit einer synergetischen, optimal abgestimmten Material- und Prozesskette für hochwertige Produkte aus amorphen Metallen mit bauteilspezifischer mechanischer Leistungsfähigkeit zu etablieren. Dazu sollten Parameter entlang der gesamten Prozesskette, von der Legierungsauswahl, der Legierungssynthese und der Verdüsung über den PBF-LB/M-Prozess bis zur Nachbearbeitung amorpher Bauteile analysiert und optimiert werden.

Projektbegleitender Ausschuss (Fs.)

- PX Services SA ^{KMU}
- Richard Wolf GmbH
- Rosswag GmbH ^{KMU}
- SLM Solutions Group AG ^{KMU}
- TLS Tech. GmbH & Co. Spez.pulv. KG ^{KMU}
- VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG
- Wenzler Medizintechnik GmbH

Das Programm "Industrielle Gemeinschaftsforschung" (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMWK** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projekimpulse.

2 **IGF-Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen** (AiF) lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMWK** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrieausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M., Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de



Die Ergebnisse

Die Prozesskette wurde anhand der Legierung Vitreloy 101 ($\text{Cu}_{47}\text{Ti}_{34}\text{Zr}_{11}\text{Ni}_8$, Vit101) und die durch Zugabe von Silizium (Si) und Silizium-Zinn (Si-Sn) mikrolegierten Derivate Vit101Si und Vit101SiSn untersucht: Die untersuchten Pulver erwiesen sich mit hoher Sphärizität und ausreichender Fließfähigkeit als geeignet für den PBF-LB/M-Prozess. Verschiedene vereinzelt aufgetretene Mikrodefekte konnten durch Parameteranpassung für ein relativ breites Prozessfenster weitestgehend eliminiert werden, sodass sich hochdichte (99,9 % optische Dichte) und vollamorphe (bestimmt mittels dynamischer Differenz-Thermoanalyse und Röntgendiffraktometrie) Proben erzeugen lassen. Die Volumenenergiedichten liegen zwischen 25 und 35 J/mm³.

Die Untersuchung der material- und prozesseitigen Einflüsse auf die Defektausprägung ergab, dass vor allem Wechselwirkungen zwischen den belichteten Schichten zu schnell aufeinanderfolgender Scanvektoren im PBF-LB/M-Prozess ursächlich für eine ungewollte prozessinduzierte Kristallisation sind. Diese kann unabhängig von der Geometrie durch eine Verlängerung der Wartezeit zwischen zwei Vektoren vermieden werden.

Obwohl Mikrolegieren die thermische Stabilität gegenüber Kristallisation erhöht, ist die Ausgangslegierung Vit101 den mikrolegierten Derivaten überlegen: Die Verringerung der Zähigkeit als Folge der Si- und Si-Sn-Zugabe erwies sich aufgrund während des PBF-LB/M-Verfahrens entstehender hoher Eigenspannungen als nicht geeignet. Die geringere thermische Stabilität bei höherer Zähigkeit erwies sich daher als besser geeignet. Die Legierungsentwicklungs-Strategien aus Gussverfahren können somit nicht auf die additive Fertigung übertragen werden.

Die additiv gefertigten Vit101-Bauteile übertrafen gegossenes Vit101 deutlich in herstellbarer Größe und Komplexität. Über die Dreipunktbiegung wurden me-

chanisch-technologische Spannungs- und Dehnungseigenschaften untersucht: die Erzeugnisse wiesen keine plastische Verformung auf. Sie wiesen jedoch die zurzeit höchste dokumentierte Biegefestigkeit einer im PBF-LB/M-Verfahren hergestellten Probe von 2,47 GPa bei einer elastischen Dehnung von rund 2,5 % auf.

Komplexe auxetische Strukturen und nachgiebige Mechanismen (sog. *Compliant Mechanisms*) konnten ebenfalls erfolgreich hergestellt werden. Daraus resultieren Bauteile, die aufgrund ihrer besonderen Funktionalität den konventionellen aus kristallinen Metallen überlegen sein können. Das erhaltene Eigenschaftsprofil eröffnet ein vielfältiges Applikationspotential für Leichtbauanwendungen, hochbelastete nachgiebige Systeme und auxetische Strukturen.

Es wurde eine Prozesskette zur Herstellung amorpher Bauteile in nahezu beliebiger Größe und Komplexität aus Vit101 erfolgreich aufgebaut, die auf andere Anlagensysteme übertragen werden kann, lediglich limitiert durch die Anlagengröße und den Materialbedarf.

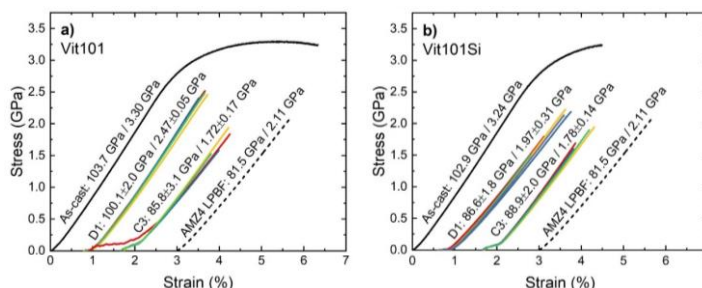
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Pulverhersteller und Dienstleister im Bereich der additiven Fertigung, die oftmals KMU sind, können die Projektergebnisse nutzen, um ihr jeweiliges Materialportfolio um einen Hochleistungswerkstoff zu erweitern. Die hohe Festigkeit des Materials bietet sich besonders für hochbelastete Spezialanwendungen an. Solche Sonderanfertigungen werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette häufig von KMUs bedient.

Umsetzung

Teilergebnisse aus der aufgebauten PBF-LB/M-Prozesskette wurden bereits z. B. von Pulverherstellern aufgenommen und in die eigene Prozesskette integriert. Zudem soll die Nutzbarkeit additiv gefertigter nachgiebiger Mechanismen in der Orthopädietechnik im Rahmen eines ZIM-Projekts untersucht werden.



Ergebnisse der Dreipunktbiegung an gegossenen und additiv gefertigten Vit101- und Vit101Si-Proben. Additiv gefertigte AMZ4-Proben dienen als Referenz (Frey et al., Additive Manufacturing, 2023).