

Projektplan

OptMetGlas: Laser-Strahlschmelzen metallischer Gläser – Optimierung von Werkstoff und Herstellungsverfahren (19927 N)

Die additive Fertigung von metallischen Bauteilen mit dem Laser-Strahlschmelzen (Laser-Powder-Bed-Fusion of Metals: LPBF-M) erlangte in den letzten Jahren gesteigerte Aufmerksamkeit in Forschung und Wirtschaft. Das Verfahren basiert auf dem schichtweisen Aufschmelzen von pulverförmigem Ausgangsmaterial unter Einwirkung von Laserstrahlung. Der Laserstrahl wird dazu ausgehend von den CAD-Daten des Bauteils entlang seiner Geometrie in der jeweiligen Schicht ausgelenkt. Durch wiederholten Pulverauftrag und Aufschmelzen entsteht sukzessive ein massives dreidimensionales Bauteil. Die schichtweise Fraktionierung des Prozesses erlaubt es dabei zusammen mit dem lokal steuerbaren Energieeintrag komplexe Bauteilgeometrien zu erzeugen, die mit herkömmlichen Verfahren häufig nicht oder nur eingeschränkt herstellbar sind. Die verfahrenstypischen kleinen Schmelzbäder gehen einher mit sehr hohen Abkühlraten (typischerweise $10^3 - 10^6$ °C/s) und ermöglichen eine weitestgehende Entkopplung der Abkühlrate von der Bauteilgeometrie, wodurch die Technologie neben neuen geometrischen Freiheitsgraden auch die Umsetzung innovativer Werkstoffkonzepte ermöglicht.

Metallische Massivgläser, auch amorphe Metalle genannt, sind eine relativ junge Materialklasse, die sich durch ihre besondere atomare Struktur auszeichnen. Während klassische Metalle eine kristalline, also geordnete Atomanordnung aufweisen, sind die Atome in metallischen Gläsern ungeordnet verteilt, man spricht von einer amorphen oder auch glasartigen Struktur. Daraus resultieren positive mechanische Eigenschaften, beispielsweise hohe Härte, Festigkeit und außergewöhnliche elastische Dehnbarkeit. Um den Glaszustand zu erreichen, müssen diese Legierungen aus dem schmelzflüssigen Zustand schnell abgekühlt werden. Dies limitiert bei herkömmlichen Gussverfahren die maximale Bauteilgröße, da bei zu großen Durchmessern die benötigten Kühlraten im Inneren des Teils nicht erreicht werden können und der glasartige Zustand zugunsten einer kristallinen Struktur verloren geht.

Um diese Größen-Limitation zu überwinden stellt das Laser-Strahlschmelzen mit seinen hohen Abkühlraten einen vielversprechenden Ansatz dar. Diverse Studien haben die grundsätzliche Anwendbarkeit von LPBF-M zur Erzeugung von Strukturen aus metallischem Glas bereits demonstriert.

Forschungsziel

Im Zuge von OptMetGlas soll die Fertigung von Bauteilen aus metallischem Glas mittels LPBF M wirtschaftlich anwendbar gemacht werden. Dazu werden für zwei glasbildende Legierungssysteme praktikable Arbeitsstrategien und Prozessparameter erarbeitet. Weiterhin sollen die Pulverwerkstoffe auf die

Prozessanforderungen abgestimmt werden. Den Firmen des projektbegleitenden Ausschusses wird die Möglichkeit geboten, unmittelbar auf die gewonnenen Erkenntnisse zuzugreifen und davon zu profitieren.

Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Mit der LPBF-Anlage EOS M100 werden zur Ermittlung geeigneter Prozessfenster verschiedene Kernprozessparameter wie Laserleistung, Scangeschwindigkeit, Spurbstand und Schichtdicke variiert. Die Dichte der hergestellten Probekörper wird mittels Lichtmikroskopie evaluiert, während durch Röntgendiffraktometrie, Rasterelektronenmikroskopie und Kalorimetrie geprüft wird, ob die Proben amorph oder (teil-) kristallin sind. Durch iterative Testreihen werden so Parameterkombinationen definiert, durch die vollständig amorphe Proben mit möglichst geringer Restporosität hergestellt werden können. Bei komplexen Bauteilformen kann es lokal zu Wärmestauungen kommen, die letztlich zu Kristallisation und damit Versprödung führen. Daher werden unterschiedliche Belichtungs- und Supportstrategien getestet, um hinreichende Wärmeabfuhr zu gewährleisten. Durch mechanische Tests in Form von Dreipunktbiegeversuchen können die erarbeiteten Parametersets weiterhin hinsichtlich ihres Einflusses auf die mechanischen Eigenschaften der Proben optimiert werden. Als Referenz dienen hierbei konventionell gegossene Probekörper.

Parallel zur Optimierung der Prozessparameter wird das pulverförmige Ausgangsmaterial den Anforderungen des LPBF-Prozesses angepasst. Beispielsweise wird die Größenverteilung der Partikel, und damit die Fließfähigkeit des Pulvers, variiert und evaluiert. Chemische Variationen des Ausgangsmaterials können sich auf das Kristallisationsverhalten des Materials auswirken. Daher wird evaluiert, in wie fern Änderungen der chemischen Zusammensetzung oder der Reinheit des Pulvers Kristallisation vorbeugen können und günstigere Prozessfenster ermöglichen.

Nach Optimierung von Prozess und Werkstoff werden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um praxisnahe Testkörper herzustellen. Entsprechende Designvorschläge werden von den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses bereitgestellt. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften dieser Bauteile werden sowohl von den universitären Forschungseinrichtungen unter Laborbedingungen als auch von den entsprechenden Firmen unter realitätsnahen Bedingungen getestet.

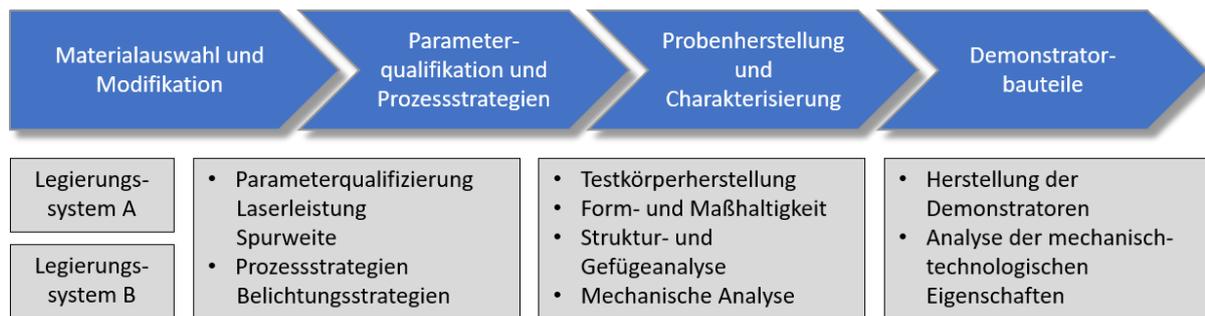


Abbildung 1: Schematischer Ablauf des Projektes

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften eignen sich amorphe Metalle besonders für die Herstellung hochfester robuster Kleinteile. Bisher werden entsprechende Produkte meist aus Cu-Be-Legierungen hergestellt, welche aufgrund des toxischen Berylliums gesundheitliche Probleme bereiten können. Die im Projekt vorgesehenen metallischen Gläser können Cu-Be-Legierungen bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften übertreffen und sind darüber hinaus frei von toxischen Bestandteilen, bis hin zur Biokompatibilität. Somit sind auch medizinische Komponenten als ein mögliches Anwendungsfeld amorpher Metalle zu sehen, was gerade für Olympus Surgical Technologies von Interesse ist. Weiterhin sind metallische Gläser durch ihre hohe elastische Dehnbarkeit prädestiniert für Bauteile mit federnden Eigenschaften.

Durch den Erkenntnisgewinn im Zuge des Projektes wird den Dienstleistern im projektbegleitenden Ausschuss, die sich auf LPBF-Dienstleistungen spezialisiert haben (AMR UR, 3D Microprint, MBFZ toolcraft, citim, Laserteck, Additive Works) die Möglichkeit gegeben, ihr Material-Portfolio zu erweitern und dadurch Wettbewerbsvorteile zu erhalten. Größere Firmen, welche bei diesen Unternehmen Kleinserien oder Prototypen per LPBF fertigen lassen, können so erste Erfahrungen mit metallischen Gläsern machen, ohne große wirtschaftliche Risiken einzugehen. Dadurch kann der Markt für diese Materialklasse geöffnet werden. An dieser Wertschöpfungskette wären auch die Zulieferer von LPBF-Anlagen (EOS), des Rohmaterials (Heraeus) sowie der entsprechenden Prozessgase (Linde) beteiligt. Durch die Ergebnisse des Projekts können diese Firmen ihre Produkte gezielt auf die Anforderungen metallischer Gläser zuschneiden.

Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
3D Microprint GmbH <small>KMU</small>
AMR UG <small>KMU</small>
Additive Works GmbH <small>KMU</small>
citim GmbH

EOS GmbH
Heraeus GmbH
ifw Jena
LaserTeck GmbH ^{KMU}
Linde AG
MBFZ toolcraft GmbH ^{KMU}
Meyer Brillenmanufaktur GmbH ^{KMU}
MK Metallfolien GmbH
Olympus Surgical Technologies Europe
SPECTARIS, Dt. Industrieverband e.V.