



Idee

KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Zukunft durch Innovation und Forschung

BeamshAlpe – Nutzung von Laserstrahlformung und AI-basierter Parameteroptimierung für die Aufbauratensteigerung in der metallischen Additiven Fertigung

Die langsamen Produktionsraten sind in der pulverbettbasierten metallischen additiven Fertigung noch eine der Haupthemmnisse für eine flächendeckendere Nutzung dieser Technologie. Neue Entwicklungen und Prozessführungsstrategien, wie die Möglichkeit der Laserstrahlformung, versprechen Produktivitätssteigerungen von über 600 % und eine Senkung der Produktionskosten von 50 % anhand von einfachen Probekörpern. Im vorliegenden Vorhaben soll daher diese Möglichkeit in Kombination mit Methoden der Künstlichen Intelligenz genutzt werden, um Aufbauraten und damit die Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Komponenten aus Stählen signifikant zu steigern. Als zu entwickelnde und zu untersuchende Fallstudien werden mit den Projektpartnern relevante Materialien identifiziert, Datenbanken zu Prozessparametern und erreichbaren mechanischen Eigenschaften angelegt und anhand von experimentellen Untersuchungen produktivere Prozessparameter entwickelt. Für die wirtschaftliche Betrachtung werden erneut mit den Projektpartnern drei passende Demonstratoren ausgewählt, hinsichtlich ihrer Funktion optimiert und anschließend hergestellt. Im Weiteren werden diese Komponenten in Bezug auf ihre Performance und Kosteneffizienz mit den bisherigen Herstellungsmethoden verglichen.

Problemstellung

Die metallische additive Fertigung (AM; engl. Additive Manufacturing), allen voran das pulverbettbasierte Schmelzen mittels Laserstrahl (PBF-LB/M) hat sich in den letzten Jahren als eine der Schlüsseltechnologien für die ressourceneffiziente Herstellung von massereduzierten, funktionsintegrierten und performance-optimierten Bauteilen in verschiedenen Industriebereichen etabliert. Viele Unternehmen können jedoch von den Vorteilen, welche diese Schlüsseltechnologie für Innovationen bietet, nicht profitieren. Dies liegt in vielen Fällen in den bisher langsamen Aufbauraten und aufwändigen Qualitätssicherungsprozessen begründet, was wiederum zu erhöhten Herstellungskosten führt. Des Weiteren ist die limitierte Materialauswahl ein nicht zu unterschätzender Punkt, der viele Unternehmen an der Implementierung dieser Technologie hindert.

Während bei vielen bisherigen Anwendungsfällen die Stückzahl begrenzt war, beispielsweise bei der schnellen Herstellung von Prototypen, Werkzeugen oder Ersatzteilen, und die Aufbauraten daher von geringerer Bedeutung war, ist diese Kenngröße insbesondere für die Serienproduktion von großem Interesse. Dies gilt vor allem für Industriezweige wie den Maschinenbau, die Automobilindustrie und die Automatisierung, welche unter anderem aus diesem Grund die AM-Technologien lediglich zu weniger als 30 % nutzen. Auch den Herstellern von AM-Anlagen ist die Problematik der geringen Aufbauraten bekannt. Daher arbeiten sie kontinuierlich daran, neben der Zuverlässigkeit und Bauteilqualität auch die Produktivität ihrer Systeme zu steigern.

Um die Aufbauraten zu steigern, wird insbesondere auf eine parallele Bearbeitungsstrategie durch die Verwendung von „Mehr-Laser-Systemen“ gesetzt. Die größte in der Serienproduktion verfügbare Anlage der chinesischen Firma E-Plus-3D verfügt über bis zu 64 × 700-W-Laser. Eine einfache Steigerung der Anzahl der Lasersysteme innerhalb einer Anlage reicht

nach Einschätzung von Experten aber zumeist nicht aus, um eine Produktivitätssteigerung zu generieren. Dies liegt darin begründet, dass mit zunehmendem Aufschmelzvolumen auch die Rauchentwicklung stark ansteigt, wodurch der Laserstrahl negativ beeinträchtigt wird. Darüber hinaus erhöhen sich die Systemkomplexitäten und die Systemherstellkosten erheblich. Ein weiterer Ansatz liegt in der Steigerung der Laserleistung, um die Verfahrgeschwindigkeiten bei gleichem Energieeintrag zu erhöhen oder größere Schichtstärken (> 100 µm) zu realisieren und hierdurch die Produktivität zu steigern.

Alternativ zu den genannten Bestrebungen zur Steigerung der Aufbauraten ist die Beam-Shaping-Technologie in den letzten Jahren in den Fokus gerückt. Mit dieser Methode kann eine dynamische Anpassung des Laserstrahldurchmessers sowie der Energieintensitätsverteilung abweichend von der Gauß'schen Strahlform binnen Millisekunden realisiert werden. Hierdurch ist es sowohl möglich, feine Details und Konturen mit einem kleinen Durchmesser hochauflösend zu fertigen und größere Durchmesser und somit eine höhere Produktivität zu erreichen. Durch die Verwendung unterschiedlicher Intensitätsprofile (Donut-Profil oder Flat-Top-Form) ist es zudem möglich, das Temperaturprofil zu beeinflussen, wodurch wiederum das Schmelzbad gesteuert werden kann und der Herstellungsprozess effizienter abläuft.

Zielsetzung und Vorgehensweise

Innerhalb des Forschungsvorhabens „BeamshAlpe“ sollen Methoden der künstlichen Intelligenz genutzt werden, um die zwischenzeitlich große Menge an verfügbaren Prozessparametern für das metallbasierte AM-Verfahren systematisch aufzuarbeiten und PBF-LB/M hinsichtlich der Produktivität zu optimieren. Dafür sollen moderne Prozessführungsstrategien unter Nutzung der KI erforscht werden, die explizit die Möglichkeiten der Laserstrahlformung für reale Bauteile – und nicht nur für Probekörper – nutzbar machen.



Idee

Das Vorhaben zielt dabei auf bisher in Kombination mit der Laserstrahlformung wenig untersuchte Werkstoffe (Edel- und Werkzeugstähle) ab.

Konkret sollen die Arbeiten im Rahmen des vorliegenden Vorhabens „BeamshAlpe“ in folgende Ergebnisse münden:

- Entwicklung eines KI-Modells, das relevante Prozessparameter für Stähle aus der wissenschaftlichen Literatur extrahiert, analysiert und daraus anwendungsspezifisch optimierte Parameter ableitet, um die Prozessauslegung in der additiven Fertigung zu unterstützen.
- Realisierung von Prozessgeschwindigkeitssteigerungen von über 50 % bei der additiven Fertigung von drei in Abstimmung mit den Projektpartnern definierten Demonstratoren. Diese werden zur Validierung der KI-basiert generierten Prozessparameter bzw. Aufbaustrategien und zur Qualitätssicherung der gefertigten Bauteile eingesetzt.

Um das KI-Modell trainieren zu können und anschließend die Demonstratoren prozessoptimiert herstellen zu können, sind neben der Sammlung von bisher zugänglichen Daten auch umfangreiche eigene Experimente hinsichtlich des Einflusses der Laserstrahlformung notwendig.

Die Ergebnisse von Praxistests und von umfassenden Werkstoffprüfungen sind verständlich aufzubereiten und stellen ein Kerneergebnis dieses Vorhabens dar. Nur durch belastbare Daten sowohl zu den Werkstoffeigenschaften als auch zur Aussagefähigkeit und Nutzbarkeit verschiedener KI-Modelle kann ein nachhaltiger Nutzen für die bayerische Metall- und Elektroindustrie geschaffen werden. Darüber hinaus entstehen weitere Potenziale und praktische Nutzen für angrenzende Bereiche des Maschinen- und Werkzeugbaus.

Als übergeordnete Ziele werden angestrebt:

- Schnellere und kostengünstigere Verfügbarkeit von branchenübergreifenden Bauteilen durch gesteigerte Aufbauraten beim PBF-LB/M-Verfahren
- Optimierte Prozessführungsstrategien zur effizienten und qualitätsgesicherten Herstellung von Bauteilen mittels PBF-LB/M
- Initial nachgewiesene Potenziale durch die Nutzung von Methoden der Künstlichen Intelligenz für die Entwicklung und Optimierung von Prozessparametern für das PBF-LB/M-Verfahren

Ergebnisse / Nutzen

Als konkrete Ergebnisse werden angestrebt:

- **Steigerung der Aufbauraten im PBF-LB/M-Prozess** durch die Kombination von KI-basierten Methoden zur Prozessparameteroptimierung mit der gezielten Anwendung der Laserstrahlformung

- Entwicklung und Validierung von KI-gestützten Modellen zur Generierung optimierter Prozessparameter für verschiedene Edel- und Werkzeugstähle
- Experimentelle Demonstration von Geschwindigkeitssteigerungen > 50 % bei gleichzeitig stabiler Prozessführung und hoher Bauteilqualität
- **Optimierung der Bauteilqualität und Gefügestabilität** durch adaptive Regelung der Laserleistung und lokal angepasste Prozessstrategien
 - Ermittlung und Bewertung von Prozess-Fenstern, die eine Reduktion von Porosität und Eigenspannungen bei hohen Aufbauraten ermöglichen
 - Analyse der Einflüsse der Laserstromformung auf die geometrischen Genauigkeiten, Oberflächenbeschaffenheit und mechanischen Eigenschaften
 - Untersuchung des Einflusses verschiedener Lasermodi und Prozessstrategien auf Härte- und Festigkeitsgradienten am Beispiel typischer Edel- und Werkzeugstähle (z. B. 1.2709, 1.2343, 1.4125, 1.4404, 1.7228)
- **KI-gestützte Auswertung und Verknüpfung von Prozess- und Qualitätsdaten** zur Echtzeit-Prozessbewertung
 - Nutzung neuronaler Netze oder Algorithmen des Maschinellen Lernens zur Vorhersage von relativen Dichtewerten und Härtewerten sowie der Oberflächengüte und weiterer mechanischer Eigenschaften
 - Aufbau einer Datenbasis zur kontinuierlichen Prozessverbesserung und Parametervalidierung
- **Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens** für den industriellen Einsatz von KI-gestützten Methoden für den PBF-LB/M-Prozess mit Laserstromformung
 - Bewertung der technologischen und wirtschaftlichen Potenziale
 - Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Maschinen- und Werkzeugbau

Hierzu werden folgende Forschungsfragen beantwortet und es wird der nachfolgend beschriebene Erkenntnisgewinn angestrebt:

- Wie können KI-Methoden zur Optimierung der Prozessparameter im PBF-LB/M-Prozess eingesetzt werden, um Aufbauraten bei gleichbleibender oder ebenfalls verbesserter Bauteilqualität zu erhöhen?
 - Welche Datenquellen und Lernstrategien sind für die Modellbildung geeignet?
 - In welchem Umfang kann die KI adaptive Prozessanpassungen unter Nutzung von Laserstrahlformung in Echtzeit unterstützen?



Idee

- Welchen Einfluss hat die Laserstrahlformung auf die Prozessstabilität, Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften der hergestellten Bauteile?
 - Wie werden die Härte, Festigkeit und Duktilität beeinflusst?
 - Welche Prozessgrenzen bestehen hinsichtlich Stabilität, Qualität und Wiederholbarkeit?
- Wie kann die Kombination aus KI-basierter Prozesssteuerung und Laserstromformung zur Qualitätsüberwachung und -sicherung genutzt werden?
 - Inwieweit können Rückkopplungen aus Prozess-daten zur Vorhersage von Defekten verwendet werden?
 - Welche Potenziale ergeben sich für adaptive Prozessregelung und Echtzeitoptimierung?

Forschungspartner

Hochschule München
Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik
Smart Manufacturing Lab von
Prof. Dr.-Ing. Christian Seidel

Projektpartner

Diehl Defence GmbH & Co. KG
FIT AG
iwis SE & Co. KG
KRONES AG
Kurtz GmbH & Co. KG
LSV Lech-Stahl Veredelung GmbH
SCANLAB GmbH