

1 Einleitung

Das Laserstrahl-Auftragschweißen (LA) ist neben den pulverbettbasierten Verfahren (EPBF und LPBF, Electron und Laser Powder Bed Fusion) eines der wichtigsten metallverarbeitenden additiven Fertigungsverfahren. Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens gegenüber den pulverbettbasierten Verfahren sind die breite Anwendbarkeit für das Beschichten, die Instandsetzung und zunehmend auch für die additive Fertigung, sowie die Möglichkeiten sowohl große Bauteile (im Meterbereich) zu bearbeiten als auch komplexe konventionell gefertigte Bauteile zu modifizieren (z.B. Aufbringung von Geometriefeatures). Das Verfahren wurde in den letzten Jahrzehnten überwiegend für Reparaturanwendungen entwickelt und eingesetzt. Zur Verarbeitung verschiedenster Werkstoffe (z.B. Eisen-, Nickel-, Titan-, Aluminiumlegierungen) liegen umfangreiche Arbeiten und Erkenntnisse in der Literatur vor. Insbesondere im Turbomaschinenbau sowie in der Luft- und Raumfahrt wird das Verfahren zur Verarbeitung von Hochleistungswerkstoffen wie beispielsweise Nickelbasislegierungen angewendet.

Inconel 718 (IN718) ist eine solche Nickelbasislegierung. Der Werkstoff IN718 wird oft für hochtemperaturbeständige Turbinenbauteile in den o.g. Branchen eingesetzt. Grund dafür sind die hervorragenden mechanischen Eigenschaften, wie der hohe Abnutzungswiderstand, die hohe Zugfestigkeit und die hohe Kriechbeständigkeit bei Temperaturen bis zu 700 °C. In der Flugzeugtriebwerksindustrie ist IN718 die am häufigsten verwendete Nickelbasislegierung der letzten 40 Jahre [Qi 09].

Der Werkstoff IN718 zeigt eine gute Schweißbarkeit und lässt sich mit dem LA-Verfahren verarbeiten. Durch eine geeignete Wärmenachbehandlung werden die AMS-Spezifikationen (Engl. Aerospace Material Specification) für die statischen mechanischen Eigenschaften erreicht. Das LA von IN718 wird v.a. im Bereich des Turbomaschinenbaus eingesetzt, z. B. für die Instandsetzung von Turbinen-Komponenten wie Turbinenschaufeln und Kompressor-Dichtungen [Kel 06, RPM 19].

Die bisherigen Arbeiten zum LA von IN718 werden überwiegend bei Auftragsraten kleiner 0,5 kg/h durchgeführt. Im Vergleich zu den erreichbaren Auftragsraten anderer Verfahren, wie dem Unterpulverschweißen mit ca. 9 kg/h [Weg 16] und dem Elektronenstrahlschweißen (EBW) mit Draht mit ca. 18 kg/h [WP 17b], ist diese Auftragsrate sehr gering. Jedoch wird der Anwendungsbereich des LA-Verfahrens kontinuierlich größer. Auch für die additive Fertigung wird das Verfahren, insbesondere in Kombination mit konventionellen Fertigungsverfahren, zunehmend interessant. Aus diesen Gründen besteht ein steigender Bedarf, die Auftragsrate und damit die Produktivität des Verfahrens signifikant zu steigern.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist deshalb die Erhöhung der Auftragsrate um mindestens einen Faktor 10 auf $> 5 \text{ kg/h}$ bei Erfüllung der AMS-Spezifikationen.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die Dissertation von Witzel [Wit 15], in der systematische Untersuchungen zur Steigerung der Auftragsrate für das LA von IN718 durchgeführt wurden. Witzel erreichte an Einzelspuren eine Auftragsrate von etwa $4,2 \text{ kg/h}$, für Volumenkörper erzielte er eine Auftragsrate von etwa $1,8 \text{ kg/h}$. Allerdings erfüllten die Dehngrenze und die Zugfestigkeit die AMS-Spezifikationen nicht.

Um das o.g. Ziel dieser Arbeit zu erreichen, wird in einem ersten Schritt als Zwischenziel eine Auftragsrate von $1,8 \text{ kg/h}$ (analog zu Witzel) mit verbesserten statischen mechanischen Eigenschaften definiert. In einem zweiten Schritt soll die Auftragsrate dann auf Werte $> 5 \text{ kg/h}$ erhöht werden. Diese Ziele sollen durch

- die Entwicklung geeigneter Prozessführungen unter Zuhilfenahme angepasster LA-Systemtechnik (z.B. Pulverzufuhrdüse) für die genannten Auftragsraten,
- die Analyse der Makro- und Mikrostruktur nach dem LA und nach angepassten Wärmenachbehandlungen,
- die Bestimmung der statischen mechanischen Eigenschaften
- sowie die Korrelation zwischen Prozessführung-Makro- bzw. Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften

erreicht werden.