

Teilprojekt A 11

Titel

Maß- und Formgenauigkeit beim generativen Laserstrahl-
Auftragschweißen

Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing.

Johannes Henrich Schleifenbaum

Projektbearbeitung: Bold, Marie, M. Sc.; Zielinski, Jonas, M. Sc.

Lehrstuhl für Digitale Additive Produktion (DAP), RWTH Aachen
University

Aufgabenstellung

Herausforderung und zentrale Aufgabenstellung im Teilprojekt A11 ist die Erhöhung der geometrischen Präzision beim Laserauftragungsschweißen (LA). Im Berichtszeitraum wurde das Augenmerk die Fertigung von dünnwandigen Strukturen mittels LA gelegt. Die Fertigung dünnwandiger Strukturen ist von besonderer Relevanz, da ein Hauptanwendungsfeld die Reparatur von Turbinenschaufeln ist. Dabei wird auf bereits bestehenden Schaufeln Material aufgetragen. Die Anforderungen sind dabei geringe Variationen der Wandstärke sowie geringe Eigenspannungen in Anbetracht möglichst geringer Nachbearbeitungskosten und Geometriestabilität in der nachfolgenden Wärmebehandlung. Eine Besonderheit bei den Reparaturanwendungen dünnwandiger Strukturen ist die Berücksichtigung kleinerer Wärmeflüsse in das Substrat bzw. einer allgemein schnelleren Aufheizung des Werkstücks während des Prozesses im Vergleich zu Fertigung von großvolumigen Bauteilen.

Vorgehensweise

Um die Wärmeflussbedingungen von dünnwandigen Strukturen zu approximieren, werden Wände auf die Kanten von Blechen aus Inconel 718 (IN718) mit Stärken von 1, 2 und 3 mm aufgeschweißt. Dabei werden die Auswirkungen von Laserleistung und Pulvermassenstrom auf die im Prozess auftretenden Temperaturen, Eigenspannungen sowie die Geometrie der Wände untersucht. Dazu wird pro Substratdicke

ein dreistufiger, vollfaktorieller 2-Faktor Versuchsplan für die Prozessparameter Laserleistung und Pulvermassenstrom durchgeführt. Die Temperaturen werden in situ mittels Quotiententhermographiekamera bestimmt, die Eigenspannungen mittels Bohrlochmethode und Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI) sowie die Geometrie anhand von 3D Scans sowie Querschliffen bewertet. Die Eigenspannungen werden an 4 verschiedenen Positionen an je 4 Messtiefen ausgewertet.

Ergebnisse

Die aufgezeichneten Temperaturen direkt nach Beendigung des Schweißprozesses sind in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die Vergrößerung des Volumens mit einer Temperatur größer als 600 °C (Grenze des Aufnahmebereichs der Kamera) sowie die allgemein größeren

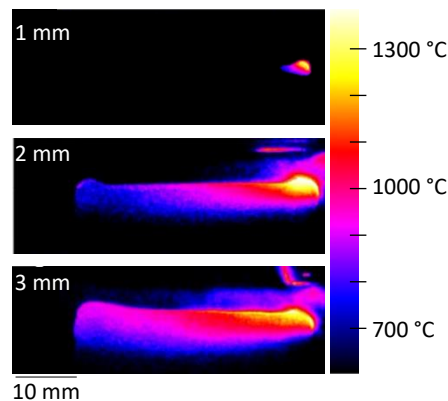


Abbildung 1: Aufgezeichnete Temperaturen nach Beendigung des Schweißprozesses für Substratbreiten 1, 2 und 3 mm

Temperaturen mit steigender Substratbreite. Dies ist insbesondere durch die notwendige, größere Laserleistung für steigende Spurbreiten zu erklären. Insbesondere bei breiteren Substraten ist daher eine kontrollierte Prozessführung, bspw. Anpassen der Laserleistung mit steigender Schichtzahl, erforderlich.

Bei der Untersuchung der Eigenspannungen zeigt sich eine Vergrößerung der Normalspannungen mit zunehmender Messtiefe. Durch die Erstarrung der Schmelze vom Rand hin zur Mitte der Spur wird das zuletzt erstarrende Material in der Mitte an der abkühlungsbedingten Kontraktion gehindert, sodass Zugspannungen entstehen. Diese sind umso größer, je näher man dem Zentrum der Spur kommt, siehe Abbildung 2. Die Schubspannungen sind an der betrachteten Position ungefähr 0 und verändern sich auch an anderen Positionen nicht merklich mit der Messtiefe.

Die Schubspannung beträgt in der Mitte der Probe 0 und nimmt zu Start und Ende hin zu, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen, siehe Abbildung 3. Die Normalspannungen nehmen die größten Werte in der Mitte der Probe an, da das umgebende Material eine Relaxation verhindert.

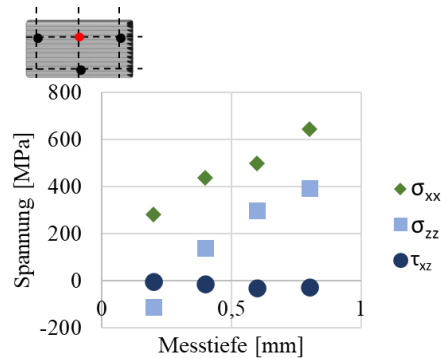


Abbildung 2: Eigenspannungen in Abhängigkeit der Messtiefe

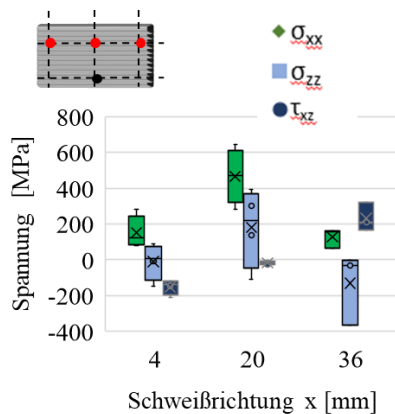


Abbildung 3: Abhängigkeit der Eigenspannungen von der Position (in Schweißrichtung)

Die Untersuchung der Geometrie der Wände ergibt eine nahezu lineare Abhängigkeit der Wandbreite von der Laserleistung, in Analogie zum LA auf Bulkmaterial (Abbildung 4 links). Der Pulvermassestrom hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wandbreite. Die Betrachtung der Variation der Wandstärke (Abbildung 4 rechts) zeigt, dass die Wandstärke mit steigendem Pulvermassestrom leicht vergrößert wird und vor allem die Standardabweichung zunimmt. Dies deutet auf sehr unregelmäßige Wandquerschnitte hin, was in der Praxis das Aufschweißen von zu viel Material erfordert, welches in der Nachbearbeitung wieder subtraktiv durch bspw. fräsen entfernt werden muss. Mit der Zielsetzung einer gleichmäßigen Wand mit definierter Wandstärke empfiehlt sich die Fertigung mit kleinem Pulvermassestrom und kleiner Laserleistung.

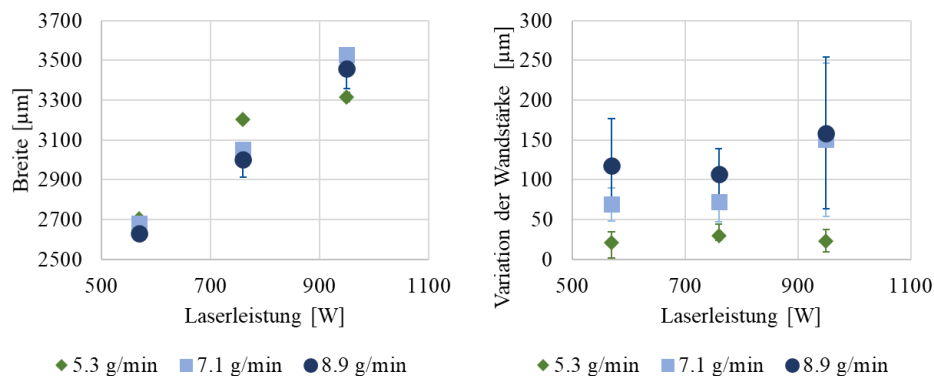


Abbildung 4: Breite (links) und Variation der Wandstärke (rechts) in Abhängigkeit von Laserleistung und Pulvermassenstrom

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Untersuchung der Abhängigkeiten der Hauptzielkennwerten bei der Fertigung von dünnwandigen Strukturen von den Prozessparametern Laserleistung und Pulvermassenstrom kann nun eine Vorauswahl sinnvoller Prozessparameter gefällt werden. Dabei kann je nach Anwendungsfall entschieden werden, ob eine möglichst kleine Nachbearbeitung erforderlich sein soll, die Eigenspannungen möglichst gering sein sollen oder eine große Aufbaurate erzielt werden soll. Diese Zielgrößen stehen teilweise in Konflikt untereinander. Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Zusammenhänge von Prozessführung und Geometrie/Eigenspannungen werden insbesondere als Mosaikstein zur verbesserten Bahnplanung in Phase 3 des SFBs genutzt. Weiterführende Untersuchungen der Prozesseinflüsse bei der Fertigung dünnwandiger Strukturen werden die resultierenden mechanischen Eigenschaften sowie die Mikrostruktur betreffen.

Veröffentlichungen

Bold, M.; Stich, J.; Schleifenbaum, J.H., Akyel, F., Reisgen, U: Influence of Laser Metal Deposition Process Parameters on Geometric Accuracy and Residual Stresses of IN718 Thin-walled Structures, Conference Proceedings: Metal Additive Manufacturing Conference 2021