

Drucken statt schmieden

Zum Erzeugen von Verbundwerkstoffen mit dünnen Schichten und unterschiedlichsten Eigenschaften kommen 3D-Druckverfahren wie LMD (im Bild) und LPBF infrage. (Bilder: Fraunhofer ILT)

Aus der Mythologie kennen wir sie: Mimung oder Excalibur – zwei berühmte Schwerter, gearbeitet aus dem legendären Damaszener Stahl. Wie sich ein ähnlich harter und zugleich zäher Verbundwerkstoff ohne Schmiedekunst und Esse mit dem 3D-Drucker herstellen lässt, untersuchten das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT) in Aachen und das Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPIE) in Düsseldorf.

Damaszener Stahl ist ein feuergeschweisster gefalteter Schichtstahl. Er verdankt seinen Namen der Stadt Damaskus und ihren mittelalterlichen Waffenschmieden. Experten erkennen diesen Stahl auf einen Blick an seinem hellen und dunklen Schichten, die ihn zugleich zu einem zähen und harten Stahl machen.

Doch lässt sich ein vergleichbarer Verbundwerkstoff ohne die erforderlichen Fähigkeiten mit dem Schmiedehammer, Amboss und Esse genauso gut mit dem Laser Schicht um Schicht aufbauen? Diese Frage stellten sich die Verfahrenstechniker des Fraunhofer ILT und die Werkstoffentwickler des MPIE, die seit Jahren bei Grundlagen- und Anwendungsforschung strategisch zusammenarbeiten. «Wir entschieden uns für eine ausscheidungshärtende Eisenbasislegierung, die in anderer Zusammensetzung auch als Maraging-Stahl bekannt ist», sagt Andreas Weisheit, Gruppenleiter Werkstoffe für Additive Fertigung am Fraunhofer ILT. «Er reagiert auf relativ kurze Temperaturspitzen mit Aus-

scheidungsbildung, die Härte und Festigkeit steigern. Dies kann bei schichtweisem Aufbau gezielt genutzt werden.»

Derartige Verbundwerkstoffe bestehen in der Regel aus dünnen Schichten, deren Mikrostruktur sich durch gezielte Temperaturbeeinflussung im Prozess, der sogenannten intrinsischen Wärmebehandlung, verändern lässt. Die Aachener und Düsseldorfer Forscher nutzten hierfür das am Fraunhofer ILT etablierte Laserauftragsschweißen (LMD). Für dieses Verfahren spricht, dass es wie alle additiven Fertigungsprozesse Bauteile schichtweise aufbaut und daher für Verbundwerkstoffe mit unterschiedlichen, dünnen Schichten infrage kommt.

LMD kam ins Spiel, weil sich mit gezielter Prozessregelung die Temperatur sehr exakt beeinflussen lässt. Mit anderen Worten: Die Wärmebehandlung findet bereits während des 3D-Druck-Prozesses statt. Klassischerweise rundet das Glühen im Ofen den Prozess ab, in dem sich der Werkstoff oft mehrere Stunden bei hoher Temperatur befindet,



Andreas Weisheit, Gruppenleiter Werkstoffe für Additive Fertigung am Fraunhofer ILT: «Wir entschieden uns für eine ausscheidungshärtende Eisenbasislegierung, die in anderer Zusammensetzung auch als Maraging-Stahl bekannt ist, der auf relativ kurze Temperaturspitzen mit Ausscheidung reagiert.»

damit er langsam aushärtet. «Diese Zeit haben wir nicht», kommentiert Markus Benjamin Wilms, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ILT: «Bei uns findet dieser Prozess während des 3D-Drucks statt. Damit kann man auf die abschliessende Wärmebehandlung komplett oder teilweise verzichten.» Genutzt wird die zyklische Erwärmung bereits aufgetragener Schichten durch das Auftragen nachfolgender Schichten. Eine nachträgliche Wärmebehandlung im Ofen steht immer dann an, wenn die Bildung der Ausscheidungen bei Legierungen zu langsam ablaufen.

Die Grenzen des LMD-Verfahrens liegen daher im Werkstoff. «Man muss natürlich schon einen Werkstoff haben, der auf diese kurzen Zeit-Temperatur-Zyklen reagiert. Das ist nicht beliebig auf jedes andere aushärtbare Material übertragbar», meint Weisheit. «Doch LMD kommt nicht nur für Verbundwerkstoffe auf Eisenbasis infrage, sondern funktioniert auch bei Aluminiumlegierungen, wie Versuche ergaben.» Das Prinzip der intrinsischen Wärmebehandlung per Laserauftragsschweissen lässt sich also auch auf andere Legierungssysteme übertragen.

Doch welche Voraussetzungen muss ein Verbundwerkstoff erfüllen, damit er sich für das Laserauftragsschweissen eignet? Zum einen müsse es sich laut Weisheit um druckbare Legierungen handeln. Zum anderen sollte die Ausscheidung relativ schnell ablaufen. «Das ist eher eine Aufgabe für die Werkstoffentwicklung», erläutert Wilms. «Bei anderen laserbasierten 3D-Druckverfahren müsste der Anwender die Legierung anpassen, weil die Temperaturführung ein bisschen anders aussieht.»

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine am Max-Planck-Institut entwickelte Legierung aus Eisen, Nickel und Titan. Beim 3D-Druck der Eisen-Nickel-Titan-Strukturen wurde der Druckprozess nach jeder neu aufgetragenen Schicht kurz unterbrochen, damit sich das Metall auf unter 195 °C abgekühlt. «Wir brauchen die Umwandlung aus dem Austenit- in das Martensit-Gefüge», sagt Weisheit. »Nur mit kleinen, dosierten Temperaturspitzen gelingt uns die Ausscheidungsbildung.«



Markus Benjamin Wilms, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ILT: «Bei uns findet das Aushärten während des 3D-Drucks statt. Im Prinzip kann man daher auf die abschliessende Wärmebehandlung komplett oder zumindest teilweise verzichten.»

Das Verfahren funktioniert laut Fraunhofer ILT bereits sehr gut für LMD, doch das Prinzip des schichtweisen Aufbaus beschränkte es bisher auf bestimmte einfache geometrische Strukturen wie Würfel. Wilms: «Wenn wir das Verfahren noch weiterentwickeln, lassen sich noch komplexere Strukturen aufbauen. Wir haben auch schon sehr komplexe Formen in das Material eingedruckt - zum Beispiel pyramiden- und dreieckförmige Härteprofile.»

Doch nicht nur LMD kommt infrage, sondern auch das ebenfalls am Fraunhofer ILT entwickelte laserbasierte Pulverbett-Verfahren LPBF (auch bekannt unter den Begriff SLM). So fand das Fraunhofer ILT bei ersten Untersuchungen heraus, dass sich LPBF auch für den 3D-Druck von Verbundwerkstoffen eignet. «Wenn ich sehr komplexe Bauteile mit sehr hoher Detailauflösung aufbauen will, würde ich natürlich immer LPBF bevorzugen», konstatiert Weisheit. «Wenn das einzudruckende Härteprofil sehr fein ist, würde ich auch eher über das LPBF-Verfahren gehen. Sonst würde ich mich für Laserauftragsschweissen entscheiden.»

Für LMD spreche ausserdem, dass es sich für hybride Prozesse eigne. So liessen sich zum Beispiel Verbundstrukturen völlig frei auf Freiformflächen aufbauen. Weisheit: «Wir sehen die beiden Verfahren nicht in Konkurrenz zu einander. Je nach Anwendungsfall kann man das eine oder das andere bevorzugen. Ich freue mich nun darauf, mit der Industrie neue praxisorientierte Anwendungen zu realisieren.»

Neue Ideen zur Weiterentwicklung gibt es bereits in Aachen: So ist es für den Gruppenleiter denkbar, die Prozesssteuerung so geschickt einzusetzen, dass sich dann noch ein dritter Zustand erreichen liesse – also zusätzlich zur voll- und nicht ausgehärteten Schicht zum Beispiel ein teilgehärteter Bereich. Weisheit: «Bis jetzt haben wir immer mit den Pausenzeiten gearbeitet. Die Temperaturführung liesse sich aber auch über andere Prozessparameter wie Laserleistung beeinflussen.»

(msc) ■

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
DE-52074 Aachen, Tel. +49 241 8906 213
info@ilt.fraunhofer.de, ilt.fraunhofer.de