

Das Beste aus zwei Verfahren

Hybrider Aufbau additiver Bauteile

Die Fertigung im Pulverbett mit Selektivem Laserstrahlschmelzen (SLM) ermöglicht es, Komponenten mit hoher geometrischer Komplexität mit großer Genauigkeit herzustellen. Im Gegensatz dazu bietet der additive Aufbau mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) große Aufbauraten. Das Verfahren eignet sich allerdings eher für geometrisch einfache Körper. Um die jeweiligen Vorteile des SLM- und LPA-Verfahrens gemeinsam zu nutzen, untersuchen Wissenschaftler am Fraunhofer IPK den hybriden Aufbau additiver Komponenten mit beiden Technologien und entwickeln dafür geeignete Baustrategien.

► Geschwindigkeit und Präzision

Ein hybrider Aufbau mittels Selektivem Laserstrahlschmelzen und Laser-Pulver-Auftragschweißen hat das Potenzial, sowohl die große Präzision des SLM-Aufbaus als auch die hohen LPA-Aufbauraten zu nutzen. Deshalb ist die Untersuchung einer SLM-LPA-Prozesskette Gegenstand der Forschungsarbeiten am Fraunhofer IPK. Die Auslegung einer LPA-Baustrategie für die Weiterbearbeitung von SLM-Komponenten zielt dabei darauf ab, qualitativ hochwertige Bauteile mit großer Formgenauigkeit zu fertigen.

Für die Gestaltung einer optimalen Aufbaustrategie ist die konkrete Bauteilgeometrie zu beachten. Relevant sind hier insbesondere die Steifigkeit und die Fähigkeit zur Wärmeabfuhr im SLM-Bauteil. Zudem erleichtert eine ebene Anbindungszone den Folgeprozess. Typische mit SLM gefertigte Gitterstrukturen weisen eine geringe Masse auf. Dies ist im Sinne des Leichtbaus auch so gewünscht. Bei einer Weiterbearbeitung mittels LPA kann das jedoch zu einem Wärmestau führen. Steigende Temperaturen verursachen dann vergrößerte Schmelzbäder, die letztlich den LPA-Prozess verändern und zu einem ungewollten Abschmelzen der SLM-Bauteilkanten führen können.

Zur Vermeidung einer abschmelzenden Bauteilkante muss die Aufbaustrategie so gestaltet werden, dass der Verfahrensweg des LPA-Auftrages mit ausreichendem Abstand zur



Aufbau einer Turbinenschaufel mittels SLM (Schaufelblatt) und LPA (Tannenbaumprofil)

SLM-Bauteilkante durchgeführt wird. Alternativ ist entlang der Kontur ein Parameterset mit geringem Energieeintrag und kleinem Schmelzbad vorteilhaft, um die Kante des SLM-Substrates zu erhalten. Während des LPA-Aufbaus von Volumen können dagegen höhere Energieeinträge zur Steigerung der Aufbauraten gewählt werden. Weiterhin lassen sich durch die Einhaltung von Abkühlzeiten zwischen einzelnen Lagen reproduzierbare Bedingungen für den LPA-Auftrag schaffen.

Um einen Verzug der SLM-Gitterstrukturen durch den LPA-Materialauftrag zu vermeiden, ist eine ausreichende Steifigkeit wichtig. Üblicherweise ist diese durch SLM-Git-

terstrukturen gegeben. Eine Vermeidung von Verzug kann zudem durch die Baustrategie unterstützt werden. Hier gilt es, die Verfahrenswege, also die Schweißreihenfolge, zu optimieren.

► Hybride Turbinenschaufel

Am Fraunhofer IPK wurde im Rahmen der FuE-Arbeiten eine mit der kombinierten SLM-LPA-Prozesskette aufgebaute Turbinenschaufel realisiert. Der Prototyp weist im Schaufelblatt komplexe Strukturen auf, die für Demonstrationszwecke durch typische SLM-Gitter umgesetzt wurden. Der Aufbau des Tannenbaumprofils erfolgt mittels LPA. Für diese vergleichsweise einfache Geometrie kann hier die hohe Aufbauraten des LPA-



LPA-Materialauftrag auf einen SLM-gefertigten Gasturbinenbrenner

Prozesses genutzt werden. Die Aufbaustrategie beinhaltet dabei zunächst die Fertigung des inneren Volumens, bevor die einzelnen Zapfen mit einem angepassten Parametersatz aufgebaut werden.

Beim Auftragschweißen auf einen SLM-gefertigten Gasturbinenbrenner dient der additive LPA-Materialauftrag dem Aufbau des Anschlussstückes. Die Aufbaustrategie nutzt dabei die Tatsache, dass durch die Symmetrie ein gleichmäßiger Energieeintrag in das Substrat stattfindet. In diesem Fall bietet der SLM-Körper genügend Volumen zur Ableitung der Wärme, weshalb die LPA-Schweißraupen konturnah geführt werden können.

► Hybrider Aufbau – ja oder nein?

Ob die kombinierte SLM-LPA-Fertigung für konkrete industrielle Bauteile geeignet ist, können Anwender anhand verschiedener Kriterien beurteilen. Im Hinblick auf die Geometriekomplexität ist die kombinierte Prozesskette dann sinnvoll, wenn das Bauteil sowohl einfache als auch komplexe Geometrien besitzt. In diesem Fall können beide Technologien ihre jeweiligen Vorteile ausspielen. In Bezug auf die Geometrie der Verbindungszone sollte das SLM-Substrat eine möglichst einfache Fläche mit guter Wärmeabfuhr für den LPA-Aufbau bereitstellen. Da der LPA-Prozess Verzug im SLM-Substrat erzeugen kann, ist zudem eine ausreichende Steifigkeit des SLM-Teiles wichtig, um die-

sen Verzug möglichst gering zu halten. Ein weiteres Indiz sind die Stückzahlen: Die hohe Aufbauraten des LPA-Prozesses kann voll genutzt werden, wenn mehrere Bauteile parallel aufgebaut werden. Dadurch kann der Schweißprozess während der Abkühlzeiten eines Bauteiles auf dem nächsten Volumen fortgesetzt werden. Die kombinierte Prozesskette ist daher besonders ab einer Kleinserienproduktion von Vorteil.

Ein Vergleich der am Fraunhofer IPK entwickelten Prozesskette mit den am Markt vorhandenen Alternativen zeigt das Marktpotenzial der hybriden Technologie auf. Eine Fertigung mit SLM, LPA oder anderen Einzelprozessen kann bereits bei Einzelteilen wirtschaftlich angewendet werden. Die kombinierte Prozesskette erfordert zwar einen erhöhten Aufwand bei der Vorbereitung der Fertigung. Dieser lohnt sich aber wirtschaftlich aufgrund der höheren Fertigungsgeschwindigkeit ab einer bestimmten Stückzahl. Das Marktpotenzial der hybriden Prozesskette liegt deshalb in der Kleinserienfertigung, z. B. von Turbinenschaufeln. ■

Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Benjamin Graf
Telefon: +49 30 39006-374
benjamin.graf@ipk.fraunhofer.de