

Additiv-Bauteile in der Fertigung – eine ganzheitliche Betrachtung

Moritz Wollbrink, Sebastian Hähnel (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT)

Ein gewinnbringender Einsatz additiver Technologien erfordert neben der Prozessbeherrschung auch eine erfolgreiche Integration in die Fertigung. Der Beitrag zeigt, welche Randbedingungen durch additiv gefertigte Bauteile vorgegeben werden, wie eine Prozesskette inklusive Weiterbearbeitung gestaltet sein kann und was bei der Oberflächenbearbeitung beachtet werden muss.

Die additive Fertigung gewinnt in Forschung und Industrie zunehmend an Bedeutung. Innerhalb der Gruppe der additiven Fertigungsverfahren nimmt besonders das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen (L-PBF) eine führende Rolle in der industriellen Anwendung ein. Bei der Verarbeitung von Metallpulvern können mit dem Verfahren endkonturnahe Bauteile erzeugt werden. Besondere Vorteile liegen in der Umsetzbarkeit komplexer Geometrien, innenliegender Funktions- oder Leichtbaustrukturen und Funktionsintegration bei reduzierten Montageaufwänden.

Diesen Vorteilen stehen jedoch Herausforderungen gegenüber, die ebenfalls betrachtet werden müssen: So erreicht ein typischer L-PBF-Prozess Oberflächenrauheitswerte (R_a) in einem Bereich von etwa 6 bis 35 μm . In Abhängigkeit von verschiedenen Prozessparametern wie Höhe der sukzessiv aufgetragenen Schichten, Scangeschwindigkeit des Lasers und Oberflächenwinkel des Werkstücks variieren die Eigenschaften zudem an verschiedenen Stellen der Bauteiloberfläche.

Typische Anforderungen des allgemeinen Maschinenbaus werden damit nicht immer direkt erreicht. Durch Fräsen (Bereich $R_a \approx 1,6$ bis 12,5 μm) oder Funkenerosion (EDM, Bereich $R_a \approx 0,2$ bis 2,5 μm), also etablierten subtraktiven Fertigungsverfahren, können die Anforderungen hingegen regelmäßig erfüllt werden. Demnach sollte die additive Fertigung nicht solitär, sondern im Kontext einer abgestimmten Prozesskette betrachtet werden.

Dies ermöglicht einerseits, Bauteile so zu gestalten, dass sie für die additive Fertigung und die subtraktive Fertigung geeignet sind und weiterhin über verbesserte Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionell designten Bauteil verfügen. Andererseits wird von Beginn an die Prozesskette holistisch betrachtet, sodass die richtigen Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen.

Industrialisierung additivsubtraktiver Prozessketten

In Verbundprojekten wie GenChain (Integrierte photonische Prozessketten für beschleunigte Produktinnovationen) und IDEA (Industrialisierung von Digitalem Engineering und Additiver Fertigung) forscht das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT seit einigen Jahren an der Industrialisierung der additiv-subtraktiven Prozesskette. Die Verknüpfung von additiven und subtraktiven Verfahren zur Fertigung von Bauteilen steht besonders im Fokus.

Aktuell befindet sich eine Methodik in Entwicklung, die auf Basis eines additiv gefertigten Bauteils eine Prozesskette zur subtraktiven Weiterbearbeitung vorschlägt und so manuelle Arbeitsplanungsvorgänge unterstützt. Dabei werden additiv-spezifische

Mittenrauwert R_a in μm :		0,40	0,56	0,80	1,12	1,60	2,24	3,15	4,50	6,30	9,00	12,5	18,0	...
VDI-Klasse:		12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	...
formgebend / subtraktiv	Gießen													
	Schmieden													
	Fräsen													
	Drehen													
	Rundschleifen													
	Senkfunkenerosion													
additiv	LB-PBF													
	LMD													

Vergleich von Mittenrauwert R_a und VDI-Klasse ausgewählter Fertigungsverfahren [Fraunhofer IPT]

Bauteileigenschaften berücksichtigt: Stützstrukturen sind für den Aufbauprozess notwendig, müssen jedoch entfernt werden und können hinderlich für die finale Oberflächenbearbeitung sein. Hierzu schlägt die softwareunterstützte Methodik technologisch mögliche Vorgehensweisen vor und bewertet diese auf Basis unternehmensspezifischer Randbedingungen wie Maschinenausstattung und Verrechnungssatzen.

Eine weitere Besonderheit additiv gefertigter Bauteile ist die stoffschlüssige Verbindung mit einer Substratplatte. Diese muss im Laufe der Weiterbearbeitung abgetrennt werden. Mit der Methodik lässt sich berechnen, wann der bestmögliche Zeitpunkt für diese Trennung ist, beispielsweise direkt nach dem Aufbauprozess oder nach einer Fräsbearbeitung. Bei der Bewertung werden unter anderem die Spannmöglichkeiten einbezogen: Entfällt die Substratplatte, entfallen auch Spannmöglichkeiten; gleichzeitig wird die Bauteilunterseite zugänglich. Diese Abwägung ist nicht bei jedem Bauteil trivial. Die Methodik ist in einen ganzheitlichen Ansatz zur Integration additiver Fertigungsverfahren in Fertigungsprozessketten eingebettet. Dieser berücksichtigt Unternehmensrandbedingungen wie den etablierten organisatorischen Fertigungsablauf, die Maschinenausstattung und das Shopfloor-Layout.

Additive Fertigung und automatisiertes, deterministisches Oberflächenfinish

Die Oberflächenbearbeitung nimmt als Weiterbearbeitungstechnologie eine bedeutende Rolle ein – vor allem dort, wo die Maßhaltigkeit des Bauteils nach dem Aufbauprozess bereits gegeben ist. Am Beispiel der automatisierten Feinbearbeitung additiv gefertigter Werkstücke zeigt sich der Nutzen des Prozesskettendenkens. In verschiedenen Versuchen hat das Fraunhofer IPT die automatisierte Feinbearbeitung von additiv gefertigten Werkstücken betrachtet.

Bedingt durch einen potenziell hohen gestalterischen Freiheitsgrad, stellen additiv gefertigte Bauteile implizit weitreichende Anforderungen in Bezug auf die Flexibilität des Feinbearbeitungssystems. Im Wesentlichen eignen sich aufgrund ihrer Flexibilität vor allem

Strahl- und Gleitschleifverfahren für eine Feinbearbeitung. Allerdings bestehen hier Hürden in Bezug auf einen zusätzlichen apparativen Aufwand, Verfahrensstabilität oder eingeschränkte Determiniertheit des Prozesses. Dies führt dazu, dass derart weiterbearbeitete Additiv-Bauteile oftmals händisch bearbeitet werden.

Eine Alternative stellt die zonale, kraftgeregelt Feinbearbeitung mit rotierenden Schleif- und Polierwerkzeugen dar. Die Werkzeuge werden in nachgiebige Werkzeugsysteme gespannt, die eine definierte Kraft auf das Werkstück ausüben und gleichzeitig Werkzeugverschleiß und Referenzierungsfehler zwischen Werkzeug und Werkstück kompensieren.



Maschinenintegrierte Feinbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen mit nachgiebigen, kraftgeregelt Werkzeugen [Fraunhofer IPT, Hi.automize]

„Plug & Play“-Lösung für eine maschinenintegrierte Nachbearbeitung

Neben vergleichsweise hohen Zeitspannungsvolumina berücksichtigt die vom Fraunhofer IPT betrachtete Methodik den Prozesskettengedanken, da der Prozess als „Plug & Play“-Lösung in Werkzeugmaschinen oder bestehende Robotersysteme integriert werden kann. So kann eine mehrstufige Feinbearbeitung bis hin zur Hochglanzpolitur sowie das Erstellen von beispielsweise Dichtflächen oder die Entfernung von Stützstrukturen in Kombination mit einer individuellen Prozessauslegung teil- beziehungsweise vollautomatisiert ausgeführt werden.

Im Fraunhofer IPT wurden verschiedene Voruntersuchungen unternommen, die sowohl eine direkte Weiterbearbeitung als auch im Anschluss an das Schlichtfräsen ausgeführte Feinbearbeitung von Bauteilen beinhalteten. Als Werkzeugsystem wurde das vom Fraunhofer IPT entwickelten und an die Hi.automize GmbH lizenzierte Werkzeugsystem „iCTS“ verwendet.

Die im Anschluss an die Schleifuntersuchungen durchgeführten Messungen zeigen, dass bei einstufiger Feinbearbeitung bereits eine Rauheit von $R_a < 0,25$ bis $0,3 \mu\text{m}$ erreicht werden konnte. Mit einer vorgeschalteten Schlichtbearbeitung wurden nur marginal niedrigere Rauheiten gemessen, so dass eine direkte, auf der Additivoberfläche applizierte Bauteilweiterbearbeitung prinzipiell weiteres signifikantes Potenzial bietet, die Bauteildurchlaufzeit zu minimieren.

Eine Einschränkung des Verfahrens besteht in der limitierten Flexibilität in Bezug auf die Nachbearbeitung von komplex, freigeformten Oberflächen, da die bestehende Prozesskinematik nur eine eingeschränkte Werkzeugzugänglichkeit erlaubt. In diesem Bereich erforscht und bearbeitet das Fraunhofer IPT sowohl in geförderten Forschungsprojekten als auch bilateralen Industrieprojekten zusammen mit Partnern aus der Industrie neue Möglichkeiten, um sukzessiv die bearbeitbare Bauteilkomplexität zu steigern. Ziel ist es, die voll- beziehungsweise teilautomatisierte Weiterbearbeitung von Bauteilen zu etablieren. Die adressierten Branchen sind vielfältig und fokussieren unter anderem die Luftfahrtindustrie, Automotive-Anwendungen und Medizintechnikprodukte.