
Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen

Hans Albert Richard · Britta Schramm ·
Thomas Zipsner
(Hrsg.)

Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen

Neue Erkenntnisse und Praxisbeispiele

Hrsg.

Hans Albert Richard
Fakultät für Maschinenbau – FAM
Universität Paderborn
Paderborn, Deutschland

Britta Schramm
Fakultät für Maschinenbau – FAM
Universität Paderborn
Paderborn, Deutschland

Thomas Zipsner
Essenheim, Deutschland

Haftungsbeschränkung:

Die Herausgeber und die Autoren haben alle Texte, Formeln und Abbildungen mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Deshalb übernehmen weder die Herausgeber noch die Autoren und der Verlag irgendwelche Garantien für die in diesem Buch abgedruckten Informationen. In keinem Fall haften die Herausgeber, die Autoren und der Verlag für irgendwelche direkten oder indirekten Schäden, die aus der Anwendung dieser Informationen folgen.

ISBN 978-3-658-27411-5

ISBN 978-3-658-27412-2 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-27412-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Additive Fertigungsverfahren gelten als zukunftsweisend und erfreuen sich daher großer Aufmerksamkeit. Der Fertigungsprozess erfolgt schichtweise, was die Herstellung von Bauteilen hoher Komplexität sowie von filigranen und dennoch steifen und hochfesten Strukturen erlaubt. Einzelfertigung und Kleinserienfertigung ist somit möglich, bei nahezu unbegrenzter gestalterischer Freiheit. Dabei werden umfangreiche Anforderungen, wie z. B. Reproduzierbarkeit, Vorhersagbarkeit, Betriebsfestigkeit und Bruchsicherheit an reale additiv gefertigte Bauteile und Strukturen gestellt.

Das vorliegende Fachbuch ist entstanden im Anschluss an die zweite und dritte Tagung „Additiv gefertigte Bauteile und Strukturen“ des Deutschen Verbands für Materialforschung und -prüfung (DVM), die am 09. und 10. November 2017 und am 07. und 08. November 2018 in Berlin stattfanden. Zahlreiche Referenten der Tagungen konnten als Autoren für dieses Buchprojekt „Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen – Neue Erkenntnisse und Praxisbeispiele“ gewonnen werden. Die Autoren sind Experten aus verschiedenen Fachgebieten von Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Die Inhalte der in diesem Buch berücksichtigten Beiträge gehen dabei z. T. deutlich über die Vortragsinhalte der Tagung hinaus und beschäftigen sich u. a. mit folgenden Schwerpunktthemen:

- Anwendungsgebiete der additiven Fertigung
- Praxisbeispiele
- Werkstoffkennwerte für Kunststoff- und Metallbauteile
- Einfluss der Fertigungsverfahren und der Nachbehandlungsverfahren auf die Material- und Struktureigenschaften
- Modellierung der Werkstoffeigenschaften und Bemessungskonzepte
- Lebensdauerbeeinflussung mittels additiver Fertigung
- Filigrane Leichtbaustrukturen
- Schadenstoleranzkonzepte
- Leichtbaustrukturen, z. B. aus den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinenbau und Medizintechnik.

Das Buch bietet demzufolge viele aktuelle Beiträge zu anwendungsnahen Themen, die unter anderem für Ingenieure und Naturwissenschaftler in der Praxis und für Nachwuchswissenschaftler an den Forschungsinstituten von großem Interesse sind. Auch Ärzte und Medizintechniker aus den Bereichen Radiologie, Chirurgie und Orthopädie können hier Anregungen finden. Geeignet ist dieses Buch auch für Studierende der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie der Medizin und Medizintechnik und verwandter Gebiete an Universitäten und Fachhochschulen.

Die Herausgeber bedanken sich herzlich bei den Autoren, die durch ihre wissenschaftlichen und praktischen Beiträge zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben. Dank geht auch an den Deutschen Verband für Materialforschung und -prüfung (DVM) und den Springer Vieweg Verlag für die Unterstützung dieses Buchprojekts.

Besonders bedanken möchten sich die Herausgeber bei Frau M. Sc. Lena Risse, Universität Paderborn, für die Erstellung des Gesamtmanuskripts.

Das Buch bietet dem Leser die Möglichkeit, sich der Thematik der Additiven Fertigung aus verschiedenen Perspektiven zu nähern. Es beinhaltet zahlreiche Ansätze und Anregungen für weitere erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Berlin, Paderborn, Wiesbaden im Juni 2019

Hans Albert Richard, Britta Schramm, Thomas Zipsner

Inhaltsverzeichnis

Entwicklung von Optimierungsstrategien für Strukturbauteile unter Ausnutzung der Potentiale des Laserstrahlschmelzens **Seite 1-22**

Einleitung, Vorgehensweise bei der Entwicklung optimaler Strukturen, Möglichkeiten der Finite-Elemente Methode, Optimierungsstrategien auf Basis der Strukturmechanik, Experimentelle Bauteilprüfung der optimierten Strukturkomponenten, Fazit

Jan-Peter Brüggemann, Lena Risse, Gunter Kullmer, Hans Albert Richard

Ein Qualitätssicherungskonzept für die additive Fertigung **Seite 23-34**

Einleitung, Entwicklung eines Qualitätssicherungskonzeptes für die additive Fertigung, Validierung des Vorgehens anhand eines laserstrahlgeschmolzenen Radträgers, Zusammenfassung und Ausblick

Artjom Dsuban, Johannes Lohn, Jan-Peter Brüggemann, Gunter Kullmer

Einsatz ingenieurmäßiger Methoden zur Lösung chirurgischer Herausforderungen **Seite 35-56**

Einleitung, CAE-gestützte Planung chirurgischer Eingriffe, Potentiale additiver Fertigungsverfahren zur Strukturoptimierung von Implantaten, Fazit

Lena Risse, Steven Clifford Woodcock, Jan-Peter Brüggemann, Britta Schramm, Gunter Kullmer, Hans Albert Richard

Entwicklung und additive Fertigung zyklisch beanspruchter Strukturen am Beispiel von metallischen Großbauteilen **Seite 57-70**

Einleitung, Methodisch strukturierte Vorgehensweise zur Identifikation geeigneter Bauteile, Materialkennwerte, Konstruktion/Optimierung, Fertigungsstudie, Validierung des Bauteildesigns und der Fertigungsstrategie, Zusammenfassung und Ausblick

Maximilian Ley, Bastian Blinn, Christoph Petroll, Tillmann Beck, Roman Teutsch

Pulvercharakterisierung mittels instrumenteller Analytik - PowderGenetics® **Seite 71-84**

Einleitung, Qualitätsrelevante Pulvereigenschaften, Konventionell eingesetzte chemische und physikalische Methoden (Auswahl), Ableitung eines standardisierten Verfahrens - PowderGenetics®, Schlussfolgerungen und Ausblick

Tom Näke, Marion Eiber

Von der Pore zum Gefüge: Die Auswirkungen von heißisostatischem Pressen auf die Mikrostruktur von Nickelbasiswerkstoffen **Seite 85-100**

Einleitung, Heißisostatisches Pressen (HIP), Gegenstand der Untersuchungen, Fazit, Schlussfolgerungen und Ausblick

Bettina Dausend, Marion Eiber

Einflüsse auf das zyklische Werkstoffverhalten von additiv gefertigten metallischen Strukturen und deren Berücksichtigung bei der Schwingfestigkeitsbewertung **Seite 101-126**

Einleitung, Einflussgrößen auf die Schwingfestigkeit, Nachbehandlung von AM-Bauteilen, Besonderheiten in der Bemessung von additiv gefertigten metallischen Bauteilen, Berücksichtigung der Einflussgrößen in einem Bemessungskonzept, Beispiel eines zu bewertenden AM-Bauteils, Übertragbarkeit bekannter Konzepte auf additiv gefertigter Bauteile, Proben, Prüftechnik, Zyklisches Werkstoffverhalten, AlSi10Mg, Inconel 718, Schlussfolgerungen

Rainer Wagener, Matilde Scurria, Kai Schnabel, Thilo Bein

Quantitative Untersuchungen der statischen und zyklischen Festigkeitseigenschaften von additiv gefertigten Proben aus AlSi10Mg **Seite 127-144**

Einleitung, Einflüsse auf die Festigkeit von additiv gefertigten Proben, Versuchsaufbau und -durchführung, Ergebnisse der statischen und zyklischen Festigkeitsuntersuchung, Kritische Bewertung und Diskussion, Fazit

Martin Hankele, Martin Werz, Stefan Weihe

**Bestimmung quasistatischer Druckeigenschaften bei
Raum- und Hochtemperatur an additiv gefertigten
Miniaturnproben** **Seite 145-156**

Einleitung, Experimentelle Methoden, Ergebnisse und Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick

Daniel Kotzem, Felix Stern, Frank Walther

**Ermüdungsrisswachstumsverhalten bei zyklischer
Belastung von laserstrahlgeschmolzenen
„3D-gedruckten“ Werkstoffen: TiAl6V4, AlSi10Mg und
316L** **Seite 157-170**

Einleitung, Experimentelle Untersuchungen: Testaufbau und Versuchsdurchführung, Ermüdungsrisswachstumsverhalten bei zyklischer Belastung, Fazit

Wadim Reschetnik, Gunter Kullmer, Hans Albert Richard

**Bruchmechanische Charakterisierung von additiv
gefertigten Kunststoffwerkstoffen in Abhängigkeit der
Einsatzfrequenz** **Seite 171-184**

Einleitung, Mechanische Spektroskopie von Polyamid 12, Probenpezifikation und Probenherstellung, Einfluss der Prüfparameter auf das Werkstoffverhalten von Polyamid 12, Ermittlung von Kalibrierkurven, Bruchmechanische Untersuchungen, Zusammenfassung und Ausblick

Benjamin Bauer, Gunter Kullmer, Hans Albert Richard

**Rissausbreitungsmechanismen in FDM-Verstärkungs-
strukturen unter dynamischer Beanspruchung** **Seite 185-198**

Einleitung, Parametereinflüsse auf die Festigkeiten beim FDM, Experimentelle Untersuchungen, Zusammenfassung und Ausblick

André Hirsch, Mark Stefan Paulus, Elmar Moritzer

Numerische Simulation zur Vorhersage von Temperaturfeldern, Eigenspannungen und Verzug beim selektiven Laserstrahlschmelzen	Seite 199-222
Einleitung, Stand der Technik: Simulation von Temperaturfeldern, Eigenspannungen und Verzug beim selektiven Laserstrahlschmelzen, Numerische Untersuchungen, Fazit Moritz Käß, Martin Werz, Stefan Weihe	
Sachwortverzeichnis	Seite 223-226
DVM – Bauteil verstehen.	Seite 227