

Berichte aus dem Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik

Band 1/2010

**Erhard Brandl**

**Microstructural and mechanical properties of additive  
manufactured titanium (Ti-6Al-4V) using wire**

Evaluation with respect to additive processes using powder  
and aerospace material specifications

Shaker Verlag  
Aachen 2010

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Cottbus, BTU, Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9530-1

ISSN 1863-6373

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Zusammenfassung (deutsch)**

Gegenüber konventionellen Fertigungstechnologien erlaubt das schichtweise Generieren von Bauteilen eine hohe geometrische Flexibilität und bietet ein großes Potenzial Zeit und Kosten einzusparen. Die Technologie ist unter vielen Bezeichnungen geläufig, wie z. B. generative Fertigung, Rapid Prototyping oder Additive Layer Manufacturing. Unterschiedliche Verfahren bieten die Möglichkeit der Bauteilgenerierung aus Polymeren, Metallen und Keramiken.

Generative Verfahren sind in der Luft- und Raumfahrt derzeit noch nicht im serienmäßigen Einsatz. Dies begründet sich vor allem in den noch offenen Fragestellungen hinsichtlich Materialqualität und Reproduzierbarkeit. Besonders kleine und mittlere Bauteile aus Titan (Ti-6Al-4V) stellen eine in Zukunft interessante Anwendung dar. Als erfolgversprechende Technologie wird das drahtbasierende Auftragschweißen diskutiert. Die grundsätzlich geringere Kontamination von Draht gegenüber Pulver stellt einen Vorteil hinsichtlich der Materialqualität dar. Ebenso scheint die Technologie aufgrund des einfacheren Anlagenaufbaus und Prozessablaufs auch eine höhere Reproduzierbarkeit zu bieten. Jedoch sind die Erfahrungen und Entwicklungsleistungen im drahtbasierten Aufbau von Ti-6Al-4V Bauteilen bisher relativ gering.

An dieser Stelle knüpft die vorliegende Arbeit an. Den Kernpunkt bildet die grundlegende Charakterisierung eines speziell entwickelten Auftragschweißverfahrens von Ti-6Al-4V Draht mittels Nd:YAG Laser. Das Verfahren wird hinsichtlich der möglichen Herstellung von Luft- und Raumfahrtbauteilen diskutiert, sowie pulverbasierten, generativen Verfahren gegenübergestellt. Dazu werden metallographische, elektronenmikroskopische und chemische Untersuchungen sowie Zug-, Ermüdungs- und Bruchzähigkeitsversuche durchgeführt.

Grundsätzlich eignen sich drahtbasierte Verfahren zur Herstellung von Luft- und Raumfahrtbauteilen. Die Prozessparameter, Wärmenachbehandlung und Lastrichtung sollten dabei auf die spezielle Anwendung abgestimmt werden. Ein erfolgversprechender Einsatz dieser Technologie wäre z. B. die Herstellung von derzeit gegossenen Bauteilen mit hohen Ermüdungs- oder Bruchzähigkeitsanforderungen. Vorteile der drahtbasierten Technologie im Vergleich zur pulverbasierten Technologie liegen in der geringen Kontamination des Bauteils sowie in der geringeren Anzahl und besseren Detektierbarkeit von Fehlstellen, was sich positiv auf die mechanischen Eigenschaften und Reproduzierbarkeit auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass drahtbasierende Auftragschweißverfahren eine interessante Alternative zur Herstellung von Luft- und Raumfahrtbauteilen sind.

## Summary (english)

Manufacturing components in a layer-by-layer fashion offers a high geometrical flexibility and great potential of time and cost savings in comparison to conventional manufacturing technologies. The technology is known under many names, such as rapid prototyping or additive (layer) manufacturing. Different processes offer possibilities for manufacturing components of polymers, metals, and ceramics.

Additive processes are currently not used for the manufacture of serial production parts for space or aerospace applications. This is primarily due to outstanding issues regarding material properties and repeatability. Small and medium-sized parts made of titanium (Ti-6Al-4V) represent an interesting application in the future. Wire-feed deposition is discussed as a promising technology in this area. The generally lower contamination of wire than powder is an advantage regarding material quality. The technology seems to offer higher repeatability levels, due to its simpler process setup and operation. However, experience and development activities regarding wire based manufacturing of Ti-6Al-4V components are relatively limited to date.

This thesis aims to address this point. Its focal point is comprehensive characterization of a specifically developed wire-feed deposition process using Ti-6Al-4V wire and a Nd:YAG laser. The process is discussed with respect to its feasibility for manufacturing aerospace components and with respect to powder based additive processes. Metallographic, electron microscopic, and chemical analyses as well as static tensile, high cycle fatigue, and fracture toughness tests are performed for this purpose.

In general, wire-feed processes are suitable for the manufacture of aerospace components. However, the process parameters, post build-up heat treatment, and load direction should be adapted to the specific application. The substitution of presently cast parts with high cycle fatigue or fracture critical purpose may be beneficial applications. The advantages of the wire-feed technology, compared to the powder-based technology, are low contamination of the part, few defects, and good detectability of defects (e.g. porosity instead of unmelted areas filled with powder). This has a positive effect on mechanical properties and repeatability. Overall, the experiments show that wire-feed deposition represents an interesting alternative for the manufacture of space and aerospace components.