

Martin Kausch

Entwicklung hochbelasteter Leichtbaustrukturen aus lasergenerierten metallischen Komponenten mit Faserverbundverstärkung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Verlag Wissenschaftliche Scripten

2013

Impressum

Diese Arbeit wurde von der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur genehmigt.

Tag der Einreichung: 04.07.2012

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Consultant (SGBS) Christian Busch

Vorsitzender: Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Mayr

Tag der Verteidigung: 03.12.2012

1. Auflage 2013

© **Verlag Wissenschaftliche Scripten**

info@verlag-wiss-scripten.de

www.verlag-wiss-scripten.de

ISBN: 978-3-942267-77-9

Inhaltsverzeichnis

Kurzzeichenverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	2
1.2 Literaturübersicht	5
1.3 Überblick zum Selective Laser Melting (SLM)	7
2 Charakterisierung von lasergenerierten Werkstoffen	17
2.1 Vergleich unterschiedlicher SLM-Metalle	17
2.2 Titan und die Titanlegierung TiAl6V4	19
2.3 Materialverhalten unter statischer Belastung	24
2.4 Schwing- und Dauerfestigkeit	28
2.4.1 Lebensdauervorhersage	28
2.4.2 Schwingversuche lasergenerierter Probekörper	29
2.4.3 SLM-Prozessparameter	31
2.4.4 Wärmebehandlung	35
2.4.5 Oberflächennachbehandlung	36
2.5 Überlagerte mechanisch-mediale Belastungen	38
2.5.1 Statische Belastungen	38
2.5.2 Analytische Berechnung dickwandiger Zylinderschalen	39
2.5.3 Dynamische Untersuchungen	43
2.6 Bauteilrelevante Dimensionierungsgrößen	48
3 Fertigungsgerechte Gestaltung von laser-geschmolzenen Leichtbauteilen	49
3.1 Fertigungsrestriktionen und Supporte	49
3.2 Designvarianten für SLM-Rohrstrukturen	50
3.2.1 Maß- und Formgenauigkeit	50
3.2.2 Vergleich ausgewählter Designvarianten für Rohrquerschnitte	52
3.2.3 Optimierung des Tropfenquerschnitts	55
3.3 Methodische Ansätze zur Konzeption neuartiger Ventilblöcke	57
3.3.1 Konstruktiver Ablaufplan	57
3.3.2 Geometrische Randbedingungen	58
3.3.3 Positionierung der Hauptkomponenten	59
3.3.4 Design von Verbindungsrohren	61
3.3.5 Gestaltung der Hauptkomponenten	62

3.3.6	<i>Bauteilintegrierte Strukturplatten</i>	64
3.3.7	<i>Anwendung der methodischen Konstruktionsansätze anhand eines repräsentativen Testventilblocks</i>	66
3.4	Lösungskonzepte zur effektiven Supportentfernung	69
3.5	Fertigungsbedingte SLM-Oberflächen	71
3.5.1	<i>Charakteristik von Bauteiloberflächen</i>	71
3.5.2	<i>Glättung innenliegender Bauteilbereiche</i>	72
4	Verbundangepasste Mischbauweise in Leichtbau-Hydraulikanwendungen	75
4.1	Funktionen der Verbundkomponenten	75
4.2	Hybride Grundstrukturen	77
4.2.1	<i>Analytische Berechnung von mehrschichtigen Rohren</i>	77
4.2.2	<i>Numerische Untersuchung faserverstärkter SLM-Abzweige</i>	80
4.3	Hybrider Luftfahrt-Ventilblock	83
4.4	Konzepte zur In-situ-Integration von Faserverbundkomponenten	85
5	Leichtbau-Ventilblöcke im Flugzeugbau	89
5.1	Spezifikation und Belastungsanalyse	89
5.2	Auslegung und Simulation	91
5.2.1	<i>Ableitung der konstruktiven Basis</i>	91
5.2.2	<i>Ground Service Manifold (GSM)</i>	92
5.2.3	<i>Actuator Control Manifold (ACM)</i>	95
5.3	SLM-Fertigungsstudien und Nachbearbeitungsprozesse	98
5.4	Erprobung ausgewählter Demonstratoren	100
6	Zusammenfassung	101
7	Literaturverzeichnis	103
7.1	Literatur	103
7.2	Gebrauchsmuster und Patente	109
7.3	Produktinformationen	110
8	Anlagen	111
8.1	Abmaß der SLM-Rohrstrukturen	111
8.2	Tropfenquerschnitt	113
8.3	CFK-Materialeigenschaften	114
8.4	SLM-Anlage und Herstellungsprozess	115