

**Experimentelle und numerische  
Untersuchungen zum Schleuderfeingießen  
von TiAl-Turbinenrädern**

Von der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie  
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

genehmigte

**DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

Dr.-Ing.

vorgelegt

von **Dipl.-Ing. Oliver Henker**

geboren am 27.06.1983 in Görlitz

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Eigenfeld, Freiberg  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Rüdiger Bähr, Magdeburg  
Stellungnahme: Dr.-Ing. Anton Stich (AUDI AG), Ingolstadt

Tag der Verleihung: Freiberg, den 07.03.2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>I</b>
<b>Versicherung</b>	<b>II</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Anforderungen an Turbinenräder</b>	<b>3</b>
2.1.1 Funktionsweise eines Abgasturboladers	3
2.1.2 Beanspruchungen	4
2.1.3 Potentielle Turbinenradwerkstoffe	5
<b>2.2 <math>\gamma</math>-Titanaluminide</b>	<b>6</b>
2.2.1 Aufbau, Gefüge und Legierungen	6
2.2.2 Mechanische Eigenschaften	10
2.2.3 Gießeigenschaften	13
2.2.4 Thermophysikalische Eigenschaften	16
<b>2.3 Schleuderfeingießen von TiAl-Turbinenrädern</b>	<b>17</b>
2.3.1 Anforderungen	17
2.3.2 Schmelz- und Formschalentechnologie	19
2.3.3 Aufbringung des Gießdrucks	21
2.3.4 Typische Gussfehler	23
2.3.5 Gießparameter und Angussgestaltung	25
<b>2.4 Numerische Simulation Schleuderfeingießverfahren</b>	<b>28</b>
<b>3 Untersuchungsmethoden</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Turbinenradgeometrie und TiAl-Legierung</b>	<b>33</b>

3.2	Experimentelle Gießversuche	34
3.2.1	Verwendete Vorrichtung zum Schleudergießen	34
3.2.2	Experimentelle Variation der Gießparameter	36
3.2.3	Vorgehensweise zur Auswertung der Gießversuche	38
3.3	Numerische Gießsimulation	41
3.3.1	Software STAR-cast	41
3.3.2	Bestimmung der thermophysikalischen Materialeigenschaften	42
3.3.3	Modellierung des Gießsystems	46
3.3.4	Numerische Variation der Gießparameter und der Angussgeometrie	51
4	Ergebnisse der experimentellen Gießversuche	54
4.1	Parametervariation zur Ermittlung des Basisparametersatzes	54
4.2	statistische Auswertung der 25 Vergleichsabgüsse	57
4.2.1	Chemische Zusammensetzung und Mikrostruktur	58
4.2.2	Wechselwirkung zwischen Gussfehlern und Turbinenradposition	60
4.2.3	Wechselwirkung zwischen Gussfehlern und Turbinenflügelposition	63
4.2.4	Diskussion	65
5	Ergebnisse der numerischen Gießsimulation	66
5.1	Validierung STAR-cast	66
5.2	Formfüllung des vierfach Angussystems	68
5.2.1	Schmelzefluss im Übergang Anschnitt / Turbinenradkavität	73
5.2.2	Thermische Vorgänge während der Formfüllung	78
5.3	Erstarrung des vierfach Anguss	84

<b>5.4</b>	<b>Einfluss Gießparameter beim vierfach Anguss</b>	<b>86</b>
5.4.1	Gießtemperatur	86
5.4.2	Küvettemperatur	89
5.4.3	Winkelbeschleunigung	94
5.4.4	Enddrehzahl	97
<b>5.5</b>	<b>Einfluss der Angussgeometrie</b>	<b>99</b>
5.5.1	Gießlauf- und Anschnittquerschnitt	99
5.5.2	Gießlauflänge	103
5.5.3	Durchmesser der Angusstrichteröffnung	106
5.5.4	horizontale Angussverdrehung	108
5.5.5	indirekte Anschnitttechnik	112
<b>5.6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>117</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>120</b>
<b>Tabellenverzeichnis:</b>		<b>123</b>
<b>Abbildungsverzeichnis:</b>		<b>125</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>133</b>