



Entwicklung und Bewertung von Herstellungsprozessen für TiAl Verdichterschaufeln

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des
akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Dan Roth-Fagaraseanu
geboren am 16.10.1971 in Sarmasu/Rumänien

Vorsitzender des Promotionsausschusses: Prof. Dr.-Ing. Arnold Kühhorn
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger
Gutachter: Dr. rer.nat.habil. Fritz Appel

Tag der mündlichen Prüfung: 06.03.2008

Erklärungen

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Frühere oder gleichzeitige Promotionsanträge existieren nicht.

Weiterhin erkläre ich hiermit, dass mir die geltende Promotionsordnung der Fakultät Maschinenbau; Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus bekannt ist.

Berichte aus dem Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik

Band 1/2008

Dan Roth-Fagaraseanu

**Entwicklung und Bewertung von Herstellungs-
prozessen für TiAl Verdichterschaufeln**

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Cottbus, BTU, Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7496-2

ISSN 1863-6373

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Besonderen Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens vom Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik der BTU Cottbus dessen Einsatz und Unterstützung die vorliegende Arbeit ermöglicht hat. Gleichzeitig danke ich allen Kolleginnen und Kollegen von BTU Cottbus, insbesondere Frau Dr. Janny Lindemann für die konstruktiven Gespräche und Anregungen.

Weiterhin möchte ich allen Mitarbeitern der Abteilung Physical Metallurgy des GKSS Forschungszentrums in Geesthacht danken, die meine Arbeit stets begleitet haben und immer bereit für Diskussionen und Anregungen waren, insbesondere Herrn Dr. rer.nat.habil Fritz Appel.

Danke sei allen Kolleginnen und Kollegen in Rolls-Royce Deutschland, die mich freundlich und hilfsbereit unterstützt haben, insbesondere Dr.-Ing. Thomas Haubold auf dessen Initiative die Arbeit entstanden ist.

Index

Index.....	1
1 Einleitung.....	6
1.1 Auswahl der Werkstoffe für Laufschaufeln im Verdichter.....	7
2 Eigenschaften und Entwicklungsstand von γ -Titanaluminid-Legierungen	10
2.1 Allgemeine Eigenschaften	10
2.2 Konstitution und Phasenumwandlungen in Titanaluminid-Legierungen ..	14
2.3 Mikrostrukturen	17
2.4 Festigkeitseigenschaften	18
2.4.1 Verformungsmechanismen	19
2.4.2 Festigkeit.....	21
2.4.3 Duktilität	23
2.4.4 Ermüdung.....	25
2.4.5 Bruchzähigkeit	26
2.4.6 Kriechfestigkeit.....	28
2.5 Legierungshärtung.....	29
2.5.1 Legierungshärtung durch Mischkristalleffekte	30
2.5.2 Ausscheidungshärtung	31
2.6 Optimierte TiAl-Legierungen der dritten Generation	32
2.7 Stand der Herstellung- und Verfahrensentwicklung für Titanaluminid-Legierungen.....	33
2.7.1 Herstellung von Primärguss	33
2.7.2 Feingussverfahren	34
2.7.3 Hochtemperatur-Umformung.....	35
3 Technologieentwicklung.....	39
3.1 Legierungsauswahl.....	39
3.2 Herstellung von Primärguss und pulvermetallurgischen Halbzeugen	43
3.3 Bestimmung von Umformfenstern.....	49
3.4 Primäres Umformen.....	54
3.4.1 Quasi-isothermes Schmieden	54
3.4.2 Strangpressen	56
3.5 Sekundäres Umformen.....	60
4 Bewertung der Herstellungstechnologien	63
4.1 Fertigungsrouten	63
4.2 Thermo-physikalische und mechanische Bewertung.....	69
4.2.1 Thermo-physikalische Daten	69
4.2.2 Probenfertigung und Wärmebehandlungen für mechanische Tests... 71	
4.2.3 Zugfestigkeit und Duktilität.....	76
4.2.4 Mechanische Anisotropie von umgeformten Halbzeugen	83
4.2.5 Degradation der Festigkeitseigenschaften durch Langzeit-Auslagerungen.....	84
4.2.6 Ermüdungsverhalten	85
4.2.7 Ermüdungsverhalten von gekerbten Proben	89
4.2.8 Kriecheigenschaften in bauteilnahen Gefügeständen.....	91
4.3 Qualitätssicherung.....	94
4.3.1 Volumeninspektion durch Ultraschall-Echo-Untersuchungen	95
4.3.2 Oberflächeninspektion	101
5 Betriebsverhalten.....	103

5.1	Schädigung durch Erosion	103
5.2	Einlauf-Verhalten	104
5.3	Bauteiltests	105
6	Zusammenfassung	111
7	Literaturverzeichnis	115