

# Vermeidung der Versprödung von Legierungen auf Basis TiAl mittels Beschichtungen mit funktionellen Eigenschaften, um die mechanischen Eigenschaften zu erhalten

24 EBG

Titanaluminidlegierungen sind als Werkstoffe für den Einsatz im Niederdruckbereich von Luftfahrttriebwerken von großem Interesse. Sie weisen unter Betriebsbedingungen im Vergleich zu den bisher verwendeten Nickelbasis-Legierungen ähnliche mechanische Eigenschaften auf, ermöglichen jedoch dank ihrer niedrigen spezifischen Dichte eine Gewichtsreduzierung und tragen so zur Leistungssteigerung der Triebwerke bei. Ein Nachteil dieser intermetallischen Werkstoffe ist allerdings ihre unzureichende Oxidationsbeständigkeit oberhalb von 700 °C und die Versprödung nach längerem Betrieb in sauerstoffhaltigen Heißgasatmosphären. Die Sauerstoffaffinität der titanreichen  $\alpha_2$ -Phase ( $Ti_3Al$ ), die in den technischen TiAl-Legierungen vorhanden ist, gilt als Ursache für diesen Versprödungsmechanismus.

Ziel des Forschungsprojektes war es, Beschichtungsstrategien zu entwickeln, um die Versprödung bei Anwendungstemperaturen von über 800 °C unter industrienahen Bedingungen zu vermeiden. Dazu wurde untersucht, welche Beschichtungen (Legierungszusammensetzung, Herstellungstechnik, Nachbehandlung) für Bauteile aus der Werkstoffgruppe der intermetallischen TiAl-Hochtemperaturlegierungen eine Unterdrückung oder Reduzierung der Oxidationsanfälligkeit und des Versprödungsverhaltens ermöglichen.

Die Beschichtungstechniken konnten sukzessive an die Anforderungen angepasst und optimiert werden. Durch die Applikation von aluminiumreichen Beschichtungen mit Al-Gehalten  $\geq 54$  at.-% wird das Oxidationsverhalten der technischen Titanaluminid-Legierungen stark verbessert. Der messbare, reine Oxidationsschutz führt aber nicht in allen Fällen zu einer Reduzierung der Versprödungsneigung. In Kombination mit einer Halogenierung der Oberfläche wird der Versprödungseffekt jedoch deutlich reduziert und die mechanischen Eigenschaften des TiAl-Substrats bleiben weitgehend erhalten. Die positive Wirkung dieser zweistufigen Behandlung konnte mit mehreren mechanischen Prüfungen belegt werden. Unter 4-Punkt-Biegebeanspruchung weisen CVD-Beschichtungen zusammen mit einer F-PI<sup>3</sup> Behandlung vielversprechende Ergebnisse auf. Nach 100 Stunden Oxidation bei 900 °C weisen die Prüfkörper noch weit mehr als 90 % der ursprünglichen Festigkeit und Duktilität auf.

Durch Al-reiche Beschichtungen in Verbindung mit Halogenbehandlungen konnte ein wirksamer Schutz gegen die Diffusion von Sauerstoff in Bauteile aus Titanaluminidlegierungen aufgebaut werden. Die Duktilität liegt bei einer Prüftemperatur von 900 °C in O<sub>2</sub>-haltigen Atmosphären gegenüber dem reinen Bauteilwerkstoff um einen Faktor von ca. 1,5 höher. Die Ergebnisse bestätigen damit die Richtigkeit des Entwicklungsansatzes und eröffnen einen vielversprechenden Weg für die Anwendung solcher Schutzschichten in industriellen Fertigungsprozessen.

Durch die Untersuchung und Erprobung einer breiten Palette von Beschichtungstechniken und Legierungsvariationen konnten wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden. Dabei wurden sowohl Ausschlusskriterien für deren Anwendbarkeit ermittelt als auch alternative Lösungen erarbeitet (z. B. Anwendbarkeit der Kaltgasspritzens, Legierungszusammensetzungen), die für zukünftige Arbeiten eine wichtige Wissensgrundlage bilden. Weitere Fortschritte in der Versprödungsvermeidung werden durch eine Verfeinerung der eingesetzten Prozesse und durch den Einsatz intelligenter Material- und Schichtkombinationen möglich. Dafür konnten mit diesem Projekt bereits wesentliche Grundlagen geschaffen werden.

Bearbeitet wurde das Forschungsthema vom 01/10 bis 03/12 bei **DECHEMA e.V., Karl-Winnacker-Institut**, (Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt, Tel.: 069/7564-361) unter der Leitung von Prof. Dr. M. Schütze (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. K. Wagemann), dem **Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.** (Bautzner Landstr. 128, 01328 Dresden, Tel.: 0351/260-2686) unter der Leitung von Prof. Dr. A. Kolitsch (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. R. Sauerbrey), dem **Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH** (Max-Planck-Straße, 21502 Geesthacht, Tel.: 04152/87-2545) unter der Leitung von Prof. Dr. F. Pyczak (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. W. Kaysser), dem **ATZ Entwicklungszentrum** (An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg, Tel.: 09661/908-473) unter der Leitung von Dipl.-Ing. G. Wolf

(Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. M. Faulstick) und der **TU Bergakademie Freiberg, Institut für Werkstoffwissenschaft** (Gustav-Zeuner-Straße 5, 09599 Freiberg, Tel.: 03731-392299) unter der Leitung von Prof. Dr. D. Rafaja (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. D. Rafaja).

--> [TIB](#)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Das IGF-Vorhaben Nr. 24 EBG der Forschungsvereinigung DECHEMA, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt am Main wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages