

Zusammenfassung:

Die Reduktion des Treibstoffverbrauchs durch die Verwendung von Leichtbaumaterialien ist ein zentrales Ziel im Flugzeugbau. Durch die Hochtemperaturanwendung von γ -Titanaluminiden als Material für Turbinenschaufeln in Flugtriebwerken, anstelle der bisher etablierten Nickelbasislegierungen, lassen sich Gewichtseinsparungen von bis zu 50% erzielen. Für den Einsatz bei Betriebstemperaturen von über 800° C sind jedoch Oxidationsschutzschichten in Verbindung mit keramischen Wärmedämmschichten auf γ -Titanaluminiden erforderlich.

Innerhalb der vorliegenden Dissertation wurden 10 μm dicke intermetallische Schichten auf der Basis von Ti-Al-Cr mit Zusätzen der sauerstoffreaktiven Elemente Yttrium und Zirkonium mittels Kathodenzerstäubung auf γ -Titanaluminiden abgeschieden. Das Potenzial dieser Haftvermittlerschichten, eine schützende thermisch gewachsene α - Al_2O_3 -Schicht auszubilden und gleichzeitig für einen ausreichenden Oxidationsschutz für das Substratmaterial zu sorgen, war zentraler Forschungsschwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Des Weiteren wurde der sogenannte *Halogeneffekt* zur Ausbildung einer thermisch gewachsenen α - Al_2O_3 -Schicht auf γ -Titanaluminiden untersucht. Hierzu wurden in Kooperation mit dem *DEHEMA-Forschungsinstitut* physikalische und chemische Verfahren getestet, Fluor in die Oberfläche von Titanaluminid-Legierungen einzubringen. Mittels Elektronenstrahlverdampfung wurden auf die voroxidierten intermetallischen Haftvermittlerschichten, sowie auf die fluorierten γ -Titanaluminid-Oberflächen mit Yttriumoxid teilstabilisierte Zirkonoxidschichten abgeschieden und die Lebensdauer und das Oxidationsverhalten dieser Wärmedämmschicht-Systeme bei thermozyklischen Hochtemperaturlagerungen an Luft bei 900 und 1000°C untersucht. Die Entwicklung der Grenzflächen wurde mit Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie in Kombination mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie untersucht. Zudem wurden die Kristallstrukturen der Phasen in den Haftvermittlerschichten und den fluorierten Oberflächen mittels Röntgen- und Elektronenbeugung analysiert.

Der Zusatz von Yttrium zu dem System Ti-60Al-13Cr (in at.%) bewirkt die Bildung von metalloxidischen Ausscheidungen der monoklinen $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ -Phase bei der

Hochtemperaturlagerung. Die Ausscheidungen liegen vorwiegend an den Korngrenzen der Haftvermittlerschicht sowie der thermisch gewachsenen Al_2O_3 -Schicht und hemmen so die Einwärtsdiffusion von Sauerstoff. Dieser *Reaktive-Elemente-Effekt* führt zu einem diffusionsabhängigen, parabolischen Oxidschichtwachstum. Die Lebensdauer dieses Wärmedämmschicht-Systems erreicht bei 1000°C mehr als 1000 1h-Zyklen. Zirkonium wird hingegen in den Kristallgittern der intermetallischen Phasen in der Haftvermittlerschicht substituiert und erhöht deren Löslichkeit für Sauerstoff. Dies hat zur Folge, dass der Zusatz von Zirkonium im System Ti-60Al-12Cr hinsichtlich des Oxidationsverhaltens weniger wirksam ist als die Zugabe von Yttrium.

Auf den mit Fluor implantierten γ -TiAl Oberflächen konnten, wie auf den intermetallischen Haftvermittlerschichten, Wärmedämmschicht-Systeme aufgebracht werden, die aufgrund der hervorragenden Oxidationsbeständigkeit des γ -TiAl-Substratmaterials durch die Fluorierung eine Lebensdauer bis zur maximalen Auslagerungszeit von 1000 1h-Zyklen bei 1000°C zeigen. Bei Hochtemperaturlagerung bildet sich selektiv eine thermisch gewachsene Al_2O_3 -Schicht mit einer darunter vorliegenden Al-verarmten Zone in der Substratoberfläche der γ -Titanaluminide. Die Fluorierung führt in Abhängigkeit der Temperatur und der F-Konzentration zu der Bildung des flüchtigen Dimers $(\text{AlOF})_2$, sowie zu kristallinen Ausscheidungen einer AlF_3 -Phase in der Al-verarmten Zone. Die Fluorierung ist daher eine vielversprechende Alternative zu der Abscheidung von intermetallischen Haftvermittlerschichten auf γ -Titanaluminiden.

In der vorliegenden Arbeit gelang die Abscheidung von Wärmedämmschichten auf γ -Titanaluminiden mittels Elektronenstrahlverdampfen erstmalig bei Substrattemperaturen von 1000°C in Verbindung mit der Fluorierung. Es konnte somit die optimal kolumnare Schichtmorphologie der abgeschiedenen Wärmedämmschichten, wie sie nach industriellen Standards auf Nickelbasis-Superlegierungen eingesetzt wird, auch auf γ -Titanaluminiden erhalten werden.