

Untersuchungen zum Einfluß von wasserdampfhaltigen Umgebungen auf die Hochtemperaturfestigkeit von Titanaluminidwerkstoffen für den verfahrenstechnischen Maschinen- und Anlagenbau

A. Zeller, F. Dettenwanger, M. Schütze
 Kontakt: schuetze@dechema.de
 gefördert durch die AiF

Zusammenarbeit mit ABB, BMW-Rolls-Royce, GfE, MTU, Siemens-KWU, Tital
 Laufzeit: 1.2.1997 - 31.10.2001

Ausgangssituation und Forschungsziel

Titan-Aluminid-Werkstoffe (TiAl) stellen aufgrund ihrer hohen Festigkeit bis ca. 800°C und ihres geringen spezifischen Gewichts interessante Werkstoffe für bewegte Bauteile in Apparaten und Anlagen für hohe Temperaturen dar.

In den meisten potentiellen Anwendungsgebieten sind die Werkstoffe wasserdampfhaltigen Atmosphären ausgesetzt. Aus jüngeren Untersuchungen wurde deutlich, daß die Anwesenheit von Wasserdampf in der Atmosphäre zu wesentlich höheren Oxidationsraten führt. Untersuchungen in definierten Atmosphären zum Einfluß von Wasserdampf auf das mechanische Verhalten sind bisher nicht bekannt. Vergleichsversuche in Laborluft und Vakuum zeigen allerdings eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften in Laborluft. Als Ursache wird in der Laborluft vorliegender Wasserdampf angenommen.

Der zur Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften führende Mechanismus wird in einer Oberflächenreaktion zwischen Metall und Wasser unter Bildung von atomarem Wasserstoff vermutet (Abb.1). In den Werkstoff eindringender Wasserstoff führt zu einer Versprödung und zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften.

Ziel des Vorhabens ist, durch Vergleichsversuche in definierter Atmosphäre den Einfluß des Wasserdampfs auf die Hochtemperaturoigenschaften bei angestrebten Einsatztemperaturen zu erfassen und die ursächlichen Mechanismen zu untersuchen.

Wasserstoffversprödung durch Oberflächenreaktion:

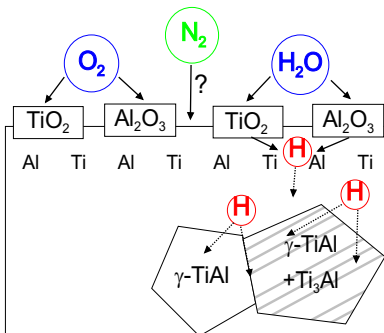
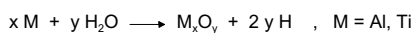


Abb.1: Angenommene Wirkungsweise der Wasserstoffversprödung von TiAl

Experimentelle Untersuchungen

- Werkstoff:** Ti 47Al 1.0Cr Si (Feinguß)
- Temperatur:** 700°C, 750°C
- Atmosphären:** Trockene (synthetische) Luft
Synthetische Luft + 10 Vol.-% H₂O
- Versuche:** Oxidationsversuche (Thermogravimetrie)
Warmzugversuche
Kriechversuche
Ermüdungsversuche (LCF) mit $\Delta\epsilon_{ges} = 0,66\%$, $\dot{\epsilon} = 3 \times 10^{-3} s^{-1}$, $R_c = 0,1$
- Nachuntersuchungen:** Metallographie
REM
TEM
ESMA
Leco-Wasserstoffanalyse

Ergebnisse

Im Warmzugversuch ergibt sich in beiden Atmosphären eine Abhängigkeit von der Dehngeschwindigkeit. Bei geringerer Dehngeschwindigkeit führt die Anwesenheit von Wasserdampf zusätzlich zu einem deutlichen Abfall der Fließspannung (Abb.2). Die jeweils bis zu einer Versuchsdauer von 1000 h durchgeführten Kriechversuche zeigen in trockener Luft eine für TiAl-Legierungen typische Abhängigkeit der minimalen Dehngeschwindigkeiten von der Spannung. Bei niedrigeren Spannungen wird ein Spannungsexponent von $n=1-2$ ermittelt, während bei höheren Spannungen sich ein deutlich größerer Spannungsexponent ergibt. In wasserdampfhaltiger Luft ist die allgemeine Zuordnung eines Spannungsexponenten nicht möglich. Insbesondere im mittleren Spannungsbereich von 200 und 230 MPa wird eine deutliche Erhöhung der minimalen Dehngeschwindigkeit ermittelt (Abb.3). Die Auswertung des Kriechverhaltens im primären Kriechbereich zeigt dagegen eine spannungsunabhängige Beschleunigung des Kriechverhaltens durch die Anwesenheit von Wasserdampf (Abb.4). Demnach findet offensichtlich eine Beschleunigung der im primären Kriechbereich für die Dehnung verantwortlichen Mechanismen statt, die im weiteren Verlauf der Versuche sich auch auf die minimalen Dehngeschwindigkeiten auswirken. Im Rahmen der Nachuntersuchungen konnte ein Einfluß des unterschiedlichen Oxidationsverhaltens auf das beschleunigte Kriechverhalten ausgeschlossen werden. Die Wirkung des Wasserdampfs kommt demnach nicht nur an der Oberfläche, sondern im gesamten Probenvolumen zum tragen. Bei den Ermüdungsversuchen wird die Lebensdauer der TiAl-Legierung durch die Anwesenheit von Wasserdampf verringert (Abb.5). Versagensauslösend und damit entscheidend für die Lebensdauer der Ermüdungsproben scheinen in erster Linie die auf der Oberfläche gebildete Oxidschicht sowie die darunter entstandene spröde Metallrandzone zu sein. Die Rolle der einzelnen Parameter unter Ermüdungsbeanspruchung ist in Abb. 6 zusammengefaßt. Der Versagensmechanismus ist schematisch in Abb. 7 erläutert.

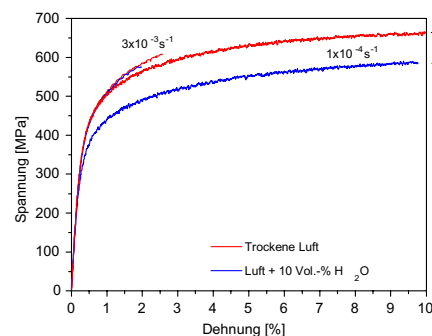


Abb.2: Warmzugversuche bei 700°C

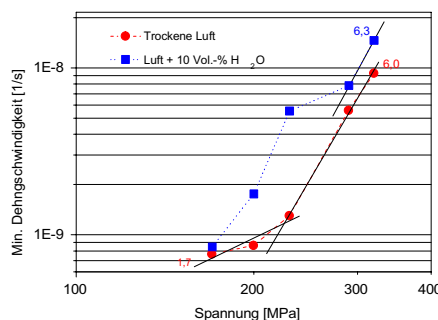


Abb.3: Minimale Dehngeschwindigkeiten bei 700°C

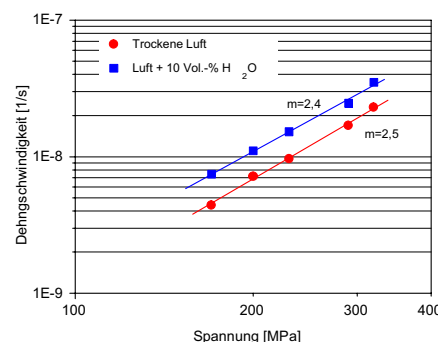


Abb.4: Dehngeschwindigkeiten nach 10 h bei 700°C

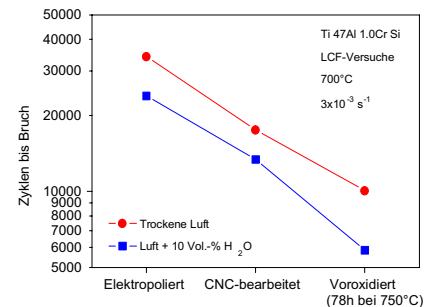


Abb.5: Lebensdauern der LCF-Versuche bei 700°C

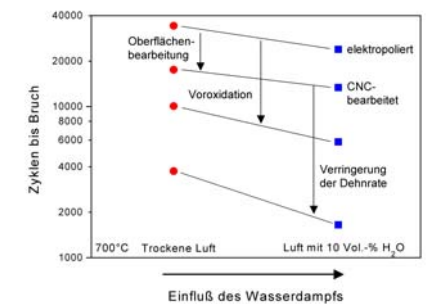


Abb.6: Einfluß verschiedener Randbedingungen und der Atmosphäre auf die Ermüdungslebensdauer der Ti 47Al 1.0Cr Si - Legierung bei 700°C (Pfeile geben durchgeführte Vergleichsmessungen an)

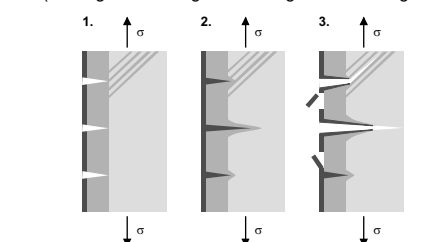


Abb.7: Schematische Abfolge der Rißbildung in der Al-Verarmungszone und des anschließenden Rißwachstums in der Matrix:
 1. Rißbildung in der versprödeten Al-Verarmungszone.
 2. Rißausheilung mit Bildung einer Al-Verarmungszone durch Oxidation an der Rißspitze.
 3. Überkritisches Rißwachstum in der Matrix entlang von Lamellen oder entlang von γ -TiAl-Körnern mit teilweisem Abplatzen der Oxidschicht.