

Abstract

Intermetallic titanium aluminide alloys, based on the ordered γ -TiAl phase, have been successfully introduced into civilian aero engines as a light-weight high-temperature structural blade material due to their outstanding structural properties. Similar to the presently used nickel-based super alloys, with a density of about 8,0 g/cm³, γ -TiAl alloys combine a high specific strength, good creep properties and good oxidation resistance at service temperatures up to 800 °C, but in contrast have a low density of about 4,2 g/cm³.

Nevertheless, a number of serious drawbacks still exist, for example the low room temperature ductility. The research presented in this thesis focuses on these issues and proposes new strategies in alloy design and process development. In particular, the phase formation and phase composition of γ -TiAl alloys is very sensitive to the type and quantity of alloying elements, as well as to process parameters such as cooling and deformation rates during processing. Several stable phases and metastable phases can form simultaneously and their crystallographic similarities make an unambiguous identification difficult. To further improve the properties of ternary and multinary γ -TiAl alloys a precise knowledge about the phase formation and phase evolution during the complete processing route is required.

Diffraction experiments with high-energy synchrotron radiation (HEXRD) can be used either as stand-alone measurements or in combination with classical methods of characterisation to clarify the temperature dependent phase constitution during different stages of processing. Based on three selected topics of interest it was shown, that HEXRD-experiments offer a unique opportunity to gain a direct insight into the phase formation and transformation processes. The use of in situ HEXRD-experiments in combination with special experimental environments has enabled the unambiguous identification of complex phases and the direct observation of their phase transformations. Additionally the phase evolution during heating and cooling cycles and the evolution of the microstructure and texture during deformation experiments can be observed. High time-resolved observations have been made on complex multi-phase γ -TiAl alloy systems. The experimental findings have contributed to an improved basic understanding of novel ternary and multinary γ -TiAl alloys and support classical methods of investigation.

Kurzfassung

Intermetallische γ -TiAl Legierungen, welche zum Großteil aus der namensgebenden γ - (TiAl) Phase mit $L1_0$ -Struktur bestehen, zeichnen sich durch ein sehr ansprechendes Eigenschaftsprofil für Hochtemperaturanwendungen aus. Sie besitzen eine geringe Dichte von 3,9–4,2 g/cm³, gute Oxidations- und Kriecheigenschaften, sowie hohe spezifische Festigkeiten bei Temperaturen bis etwa 800 °C. Jedoch stellt beispielsweise die geringe Duktilität bei Raumtemperatur, auch nach mehreren Jahrzehnten TiAl-Forschung, immer noch eine Herausforderung dar.

Um den Herausforderungen zu begegnen, zielen neuartige Legierungsdesignkonzepte darauf ab die „klassische“ zweiphasige Phasenkonstitution, aus der γ -TiAl und der α_2 -Ti₃Al Phase, durch „neue“, oftmals kristallographisch verwandte, Phasen zu erweitern. Mit herkömmlichen Charakterisierungsmethoden, die nach dem Herstellungs- oder Verarbeitungsprozess ansetzen, kann oftmals nur ein lückenhaftes und unzureichendes Verständnis über die komplexen temperatur-, zeit-, und legierungsabhängigen Phasen- und Mikrostrukturentwicklungsprozesse erlangt werden. Dies gilt insbesondere für Legierungen, deren Mikrostrukturen prozessbedingt stark unterkühlt oder verformt wurden. Die zahlreichen entstehenden kristallographischen Phasenvarianten, mit ihren unterschiedlichen geordneten und ungeordneten, stabilen und metastabilen Zuständen, deren Transformationen und die daraus resultierenden Mikrostrukturen, sind ohne die genaue Kenntnis der Bildungsbedingungen und der Bildungspfade kaum nachvollziehbar.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung und Aufklärung neuartiger komplexer ternärer und multinärer γ -TiAl Legierungen für Hochtemperaturanwendungen, mit Hilfe von *ex* und *in situ* Diffraktionsexperimenten mit hochenergetischer Synchrotronstrahlung (HEXRD). Es wurde gezeigt, dass HEXRD-Experimente sowohl eigenständig, als auch in Kombination mit „klassischen“ Charakterisierungsmethoden, zu einem verbesserten Grundlagenverständnis für die Legierungs- und Prozessentwicklung führen können. Insbesondere *in situ* HEXRD-Experimente ermöglichen in Verbindung mit speziell optimierten Probenumgebungen bisher einzigartige Einblicke in die Phasenkonstitution und das Zeit-Temperatur-Transformationsverhalten komplexer mehrphasiger γ -TiAl Legierungssysteme.