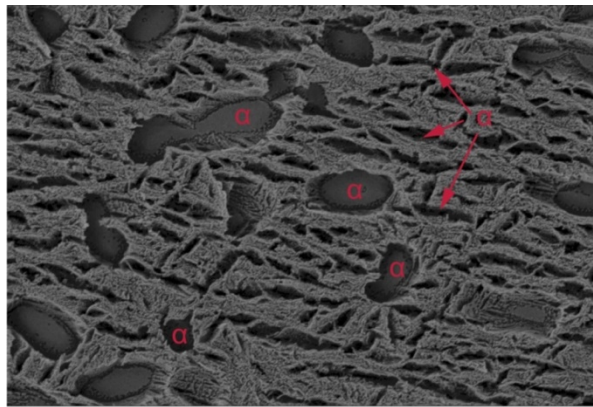


Projektinformationen:

IGF BMWi-Programm: Industrielle
Gemeinschaftsforschung (IGF)
IGF-Projektnr.: 18116 N
Laufzeit: 04.2014 –
09.2017
Fördersumme: 498.550 EUR
Industriebeitrag: vorhabenbezogene
und Administrationsaufwendungen

Forschungseinrichtungen

- TU Braunschweig
Institut für Werkstoffe
Projektleiter: Carsten Siemers
- DECHEMA-Forschungsinstitut
Arbeitsgruppe Korrosion
Projektleiter: Wolfram Fürbeth



Ti-13Nb-13Zr, α_p/α" (700°C) + aged

2 μm

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Graded Ti-13-13

(α + β)-Titanlegierung Ti Nb13 Zr13 mit gradierten Eigenschaften
für den Einsatz als Implantatwerkstoff

Projektbegleitender Ausschuss

- FHB Fassendreherei GmbH ^{KMU}
- GfE Metalle und Materialien GmbH
- Königssee Implantate GmbH ^{KMU}
- Litos GmbH ^{KMU}
- Osteosynthese-Institut GbR ^{KMU}
- VDM Metals GmbH
- Safa GmbH & Co KG ^{KMU}
- Arconic Engineered Structures TITAL GmbH

Projektkoordination / Transfer

DECHEMA Gesellschaft für Chemische
Technik und Biotechnologie e.V.
069 7564 0
info@dechema.de
<https://dechema.de/Forschungsfoerderung/AiF.html>

Institut für Werkstoffe



Die Herausforderung: Die (Dauer)Festigkeit der Legierung Ti-13Nb-13Zr ist für einen Einsatz in Implantaten nicht ausreichend. Dabei sind die Anforderungen an verschiedene Bereiche in einem Hüftimplantat sehr unterschiedlich: Im Implantatschaft wird eine niedrige Steifigkeit bei einer mittleren Festigkeit benötigt, der Imanplantatkopf sollte eine möglichst hohe Festigkeit bei einer höheren Steifigkeit besitzen. Obwohl sich die mechanischen Eigenschaften der Legierung Ti-13Nb-13Zr in weiten Bereichen einstellen lassen, war das Einstellen gradiertter Eigenschaften in einem Bauteil bisher nicht möglich. Da Ti-13Nb-13Zr teurer ist als die herkömmlichen Titanlegierungen, wird sie nur selten eingesetzt, obwohl sie aus Sicht der Steifigkeit Vorteile gegenüber Ti 6Al 4V hat und zudem ohne Aluminium und Vanadium als Legierungselemente auskommt.

Die Innovationsidee: Projektziel war die Einstellung gradiertter mechanischer Eigenschaften in einem Implantat aus der Titanlegierung Ti-13Nb-13Zr, das das Anforderungsprofil von Implantatschaft und -kopf erfüllt. Zusätzlich sollte eine Oberflächenmodifikation erfolgen, um das Anwachsverhalten in den Knochen zu verbessern. Umfangreiche Studien zur thermo-mechanischen Behandlung wurden durchgeführt, um zunächst Prozessrouten für passende mechanische Eigenschaften zu entwickeln. Diese wurden hinterher durch eine partielle Wärmebehandlung in einem Bauteil umgesetzt. Durch Plasmaanodisieren wurde die Oberfläche modifiziert, um das Anwachsverhalten zu verbessern.

Die Ergebnisse: Im Rahmen des AiF Projektes 18116 N wurde die Titanlegierung Ti 13Nb 13Zr untersucht. Ziel war es, die Legierung hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften zu charakterisieren und durch thermomechanische Prozesse für den Einsatz als Implantatwerkstoff zu optimieren. Dabei sollten die unterschiedlichen Anforderungen an die Bereiche Implantatschaft (niedrige Steifigkeit / moderate Festigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit) und Implantatkopf (hohe Festigkeit, hohe Verschleißbeständigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit) mit einbezogen werden. Dies wurde durch umfangreiche thermomechanische Behandlungen, Phasenanalysen, Korrosionsexperimente, Plasmaelektrolytische Oxidation der Oberfläche und mechanische Prüfungen umgesetzt.

Entgegen der Einordnung in der Literatur gehört die Legierung nicht zur Klasse der metastabilen β -Legierungen oder near- β Legierungen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass Ti 13Nb 13Zr martensitisch umwandeln kann und damit in die Gruppe der $(\alpha+\beta)$ -Legierungen einzuordnen ist. Die Phasenanalysen lassen darauf schließen, dass sich der orthorhombische α'' -Martensit bildet.

In diesem Projekt wurden zwei Strategien verfolgt, um Gefüge mit hoher Festigkeit bei niedriger Steifigkeit einzustellen.

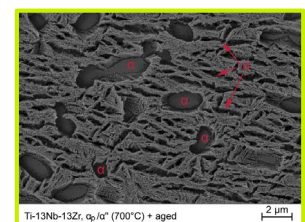
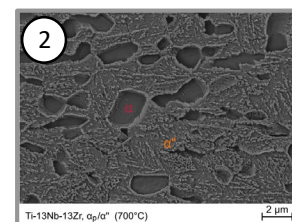
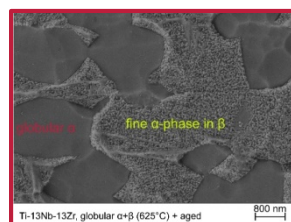
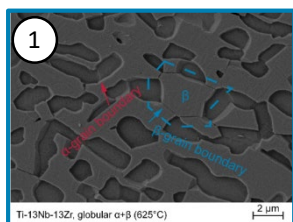
(1) Durch eine Wärmebehandlung bei 625°C mit anschließender Wasserabschreckung wurde ein maximaler Anteil an metastabiler β -Phase eingefroren - α_p/β -Gefüge. Eine Ausscheidungshärtung dieses Zustandes bei geringeren Temperaturen führte dann zu einer erhöhten Festigkeit - $(\alpha_p/\beta + \alpha_s)$ -Gefüge. Durch eine Umformung bei 650°C mit ausreichend hoher Verformung der α -Phase lassen sich dabei globulare Gefüge einstellen. Für die anschließende Rekristallisation müssen etwa 675°C erreicht werden. Durch eine langsame Abkühlung auf 625°C und 8 Stunden Haltezeit mit Wasserabschreckung lassen sich dann die ausscheidungshärtbaren, globularen $(\alpha+\beta)$ -Gefüge mit metastabiler β -Phase herstellen.

(2) Eine weitere Gefügevariante besteht aus globularer α_p -Phase und α'' -Martensit - α_p/α'' -Gefüge. Durch eine nachgestellte Wärmebehandlung lässt sich dann der Martensit partiell in α_s -Phase umwandeln, was zu der gewünschten Festigkeitssteigerung führt - $(\alpha_p/\alpha'' + \alpha_s)$ -Gefüge.

Die Gefüge besitzen einen niedrigen E-Modul und eignen sich daher für den Einsatz im Schaftbereich von Implantaten. Beide Varianten lassen eine Festigkeitssteigerung durch die Ausscheidung von α -Phase zu, so dass auch eine Anwendung im Kopfbereich möglich ist. Diese Verfestigung erfolgt bei relativ niedrigen Temperaturen und kann an Luft an endkonturnahen Implantatrohlingen mittels induktiver Erwärmung durchgeführt werden, so dass die Ausscheidungshärtung auch partiell erfolgen kann. So lassen sich dann Implantate mit gradierten Eigenschaften einstellen.

Durch Plasmaanodisieren können Titanoxidschichten mit einer Dicke von einigen Mikrometern und einer porösen Struktur erzeugt werden. Die Schichteigenschaften wurden in Abhängigkeit der variierten Prozessparameter evaluiert. Es kann gezeigt werden, dass die Porosität mit zunehmender Frequenz und abnehmender Stromdichte verringert werden kann. Die Beschichtungen bestehen aus Anatas und Rutil, die Phasenzusammensetzung der Beschichtungen kann durch die Stromdichte eingestellt werden. Die Korrosionsbeständigkeit der Schichten wurde in einer simulierten Körperflüssigkeit (SBF) unter Zugabe von 0,1 M H_2O_2 durch Messung des Ruhepotentials, potentiodynamischer Polarisation und elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS) getestet. Damit kann die Korrosionsbeständigkeit um mehrere Größenordnungen gegenüber dem ungeschützten Material verbessert werden. Das EIS-Datenfitting lässt auf eine zusammengesetzte Schichtstruktur aus einer äußeren porösen Schicht und einer inneren Barrierschicht schließen.

Die Verwertung: Mit Abschluss des Projekts stehen verschiedene Wärmebehandlungen zur Verfügung, mit denen sich die mechanischen Eigenschaften der Legierung Ti-13Nb-13Zr in weiten Bereichen einstellen lassen. Zusätzlich wurde eine thermo-mechanische Behandlungsvorschrift zur Erzeugung gradiert mechanischer Eigenschaften erarbeitet. Ein Einsatz in Hüftimplantaten erfolgt derzeit nicht. Zurzeit wird jedoch eine Studie betrieben, in der untersucht wird, ob sich Dentalimplantate aus Ti-13Nb-13Zr fertigen und sinnvoll einsetzen lassen. Hier kommen die im Projekt ermittelten, verschiedenen Wärmebehandlungen zum Einsatz.



Themenfelder

- Materialwissenschaften
- Titanwerkstoffe

- Medizintechnik
- Implantate