

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	置換型元素を複合添加したTiAl基 4 元系合金の相平衡 —高温及び低温 β -Ti相の相安定性—
Title(English)	
著者(和文)	中島広豊
Author(English)	Hirotoyo Nakashima
出典(和文)	学位:博士 (工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9751号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹山 雅夫,中村 吉男,熊井 真次,村石 信二,林 重成,小林 寛
Citation(English)	Degree;, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9751号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：材料工学 専攻
Department of
学生氏名：中島 広豊
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：竹山 雅夫
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：
Academic Advisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「置換型元素を複合添加した TiAl 基 4 元系合金の相平衡—高温及び低温 β -Ti 相の相安定性—」と題し、7 章から構成されている。各章の概要は以下に示す通りである。

第 1 章「緒論」では、 γ -TiAl 基合金の高温材料としての優れた有用性と現状を概観し、更なる用途拡大には鍛造合金の開発に資する組織設計指導原理の構築が喫緊の課題であることを述べた。特に、その開発には高温での成型性并使用温度での特性の両立が求められ、 β -Ti 安定化元素 (M) を添加した際に現れる本合金特有の相変態経路 ($\beta+\alpha$ -Ti $\rightarrow\alpha\rightarrow\alpha$ (α_2 -Ti₃Al)+ $\gamma\rightarrow\beta+\alpha+\gamma$) を利用した組織制御が重要であること、また、その相変態経路を有する組成域を特定できる信頼性ある Ti-Al-M₁-M₂ 4 元系状態図の構築が必要不可欠であることを指摘し、本論文の意義、目的及び構成について述べた。

第 2 章「Ti-Al-M 3 元系における β , α , α_2 , γ 相間の相平衡の計算による再現」では、Ti-Al-M₁-M₂ 4 元系への拡張の基礎となる Ti-Al-M 3 元系状態図の計算による再現を、正則溶体モデル及び副格子モデルを用いて試みた。既存の熱力学データベース (DB) を用いた場合、計算状態図は $\alpha/\alpha+\gamma$ 相境界線を 100 K 近く低温側に算出するなど、実験結果を全く再現しない。この結果から、実験状態図の再現には α 相の β 相に対する相対的な相安定性の向上、すなわち、 α 相中の Ti-Al-M 3 元素間に存在する負の相互作用が重要であることを指摘し、 $\beta+\alpha+\gamma$ 3 相共存領域はこの相互作用パラメータの値を負に増大することによって再現できることを示した。また、これらの知見から各 3 元系の DB を新たに構築した。

第 3 章「Ti-Al-M₁-M₂ 4 元系における高温 β -Ti 相の相安定性の添加元素濃度比依存性」では、M₁ に Nb を、M₂ に V, Cr, Mo を選定し、Ti-42Al にこれらの元素を濃度比 (M₂/Nb+M₂) 0.13~0.75 の範囲において複合添加した 4 元系の 1473 K における高温 β 相領域を調べている。その結果、各相間の Nb 及び M₂ の分配係数はその比によらず 3 元系と同じ値を示すこと、しかし、高温 β 相領域は、濃度比に依存して変化し、Nb と同族である V 添加の場合、その比が 0.5 となる組成域近傍において低 (Nb+V) 濃度側に約 1 at.% と拡大すること、一方、異族元素である Cr, Mo の場合、その比が Nb-rich 側の 0.2 において低 (Nb+M₂) 濃度側に 2 at.% までさらに拡大することを明らかにした。この β 相領域の拡大の組成依存性は、第 2 章にて構築した 3 元系の DB を用いた計算では再現できず、3 元系を 4 元系へと展開する手法として一般的に用いられる M₂ の M₁ 当量は適用できないことを指摘した。この相領域の計算による再現には、4 元系にて新たに考慮すべき β 相中の Nb-M₂-Al または Nb-M₂-Ti 3 元素間の相互作用が重要であることを指摘し、 β 相領域はこれら相互作用パラメータの値を負に増大し、 β 相の相安定性を高めることによって再現できることを明らかにした。

第 4 章「Ti-Al-M₁-M₂ 4 元系における高温 β -Ti 相の相安定性の Al 濃度依存性」では、3 章の結果より、各相間における M 元素の分配係数が最も大きい V (M₂) を選定し、Ti-45Al の 1473 K における β 相領域を調べた。その結果、高温 β 相領域は前章と同様、低 (Nb+V) 濃度側へと約 1 at.% 拡大するが、その相領域の拡大は濃度比 0.25~0.75 の広い組成範囲で認められ、明確な Al 濃度依存性を示すことを明らかにした。これらの知見から、4 元系における高温 β 相領域の拡大は、 β 相中の Al-Nb-V 3 元素間に存在する相互作用が重要であることを見出し、この相互作用パラメータの制御により β 相領域を計算によって再現できることを示した。

第 5 章「Ti-Al-M₁-M₂ 4 元系における β -Ti 相の相安定性の温度依存性」では、Ti-42Al に Nb 及び V を複合添加した 4 元系の 1373 K における相平衡を調べた。その結果、 β 相領域は 1473 K の場合と同様、濃度比 (V/Nb+V) が 0.5 近傍の組成域において低濃度側に拡大すること、しかし、その程度は 1.5 at.% と温度の低下に伴い増大することを明らかにした。また、この β 相領域の低温側での拡大は、3 章及び 4 章にて決定した Al-Nb-V 3 元素間の相互作用に温度依存性を導入することなく計算により再現できること示した。以上の知見から、M 元素を複合添加した TiAl 基合金の広い温度、組成範囲における状態図は、実験的に決定した Al-Nb-V 3 元素間の相互作用を考慮すれば、温度依存項は無視して計算によって再現できると結論した。

第 6 章「 β -Ti 相を利用した多元系鍛造 TiAl 基合金の設計指針」では、前章までの結果に基づいて、使用温度まで含めた広い温度範囲の状態図を構築し、この合金系特有の反応経路を維持した上で、より低温まで高温 β 相が安定となり、かつ、使用温度における過剰な低温 β 相の生成を抑制する合金設計には Nb と V の複合添加が最適であることを示し、4 元系のモデル合金を提案した。このモデル合金は、相変態を利用した組織制御が可能であること、鍛造性に優れることを実証するとともに、優れた靱性及びクリープ特性を示唆する結果が得られた。

第 7 章「結論」では、本研究で得られた知見を総括するとともに、今後の課題を述べた。

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：材料工学 専攻
Department of
学生氏名：中島 広豊
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：竹山雅夫
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

The phase equilibria among β -Ti, α -Ti and γ -TiAl phases have been examined in the Ti-Al-Nb-M (M: V, Cr, Mo) quaternary systems, by means of metallographic observations and electron probe microanalysis, particularly paying attention to the relative phase stability of the β phase. At 1473 K, in all of the quaternary systems, the region to form the β phase expands toward the (Nb+M) poor side, compared to the prediction based on the Ti-Al-Nb and Ti-Al-M ternary systems. The degree of the expansion of the β phase region shows strong M/Nb composition ratio dependence: In the case of the same group elements combination, i.e. Nb-V, the β phase region expands by about 1 at.% when the V/Nb is equal to 1, whereas it occurs by about 2 at.% when M/Nb is close to 0.25 in the case of the different group elements, i.e. Nb-Cr and Nb-Mo. The ternary interaction parameters among Ti-Nb-V and Al-Nb-V can reproduce the observed composition dependence of the relative phase stability of the β phase, by taking its composition dependence into account. With increasing Al content, the β phase region contracts toward the (Nb+V) rich side, whereas the degree of the expansion from the prediction based on the ternary systems, increases in the Ti-Al-Nb-V quaternary system. Thus, the ternary interaction to stabilize the β phase can be concluded to exist among Al-Nb-V. At 1373 K, the β phase region also expands toward the (Nb+V) poor side and its degree increases with decreasing temperature. The ternary interaction parameters among Al-Nb-V, which are optimized at 1473 K, can reproduce the temperature dependence of the stability of the β phase, without the temperature dependence of the interaction. Based on these results, the quaternary phase diagram over a wide range of temperature, including 1073 K, are constructed and the alloy design concept of the multi-component TiAl wrought alloy was proposed.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。