T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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—
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　覚
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)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

平成 26 年度学位論文

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—

γ-TiAl 基合金は，世界中で研究開発が積極的に進められており，日本においては府省・分野横断型の国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラムにおいて拠点型課題に採択されるなど，近年特に注目されている耐熱材料である．本論文は，TiAl 基合金の適用範囲拡大に向けて不可避である鍛造性の向上及び靭性・クリープ特性の向上という２つの課題を同時に解決する手法として，β-Ti 安定化元素 (M) を単独添加した３元系に基づく鍛造合金設計指導原理の４元系への拡張に着目した. M 元素を複合添加した４元系の広い組成及び温度範囲において β 相の相領域を調べるとともに，その相安定性の支配因子となる相互作用を検討した．また，得られた知見を基にモデル合金を提案し，M 元素複合添加の有効性を実験的に検証した．
本論文は 7 章から構成される．以下に各章の概要を示す．

第 1 章「緒論」では，γ-TiAl 基合金の特徴を概観し，その高温部材への適用によって軽量化及び環境負荷低減が実現すること，本合金の適用範囲の更なる拡大には，鍛造合金における靭性及びクリープ特性の向上が求められることを述べた．また，β-Ti 安定化元素を添加した３元系において β+α-Ti→α→α(α_2-Ti_3Al)+γ→β+γ の反応経路を利用する鍛造合金の設計指針は, その４元系への展開によって鍛造性及び組織安定性の更なる向上が可能であり，その上で，上記反応経路を示す多元系状態図の構築が不可欠であることを指摘し，本論文の意義，目的及び構成を示した．

第２章「Ti-Al-M３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-M_1-M_2 ４元系への拡張の基礎となる Ti-Al-M３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 α/α+γ 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-M３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，β+α+γ 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-M_1-M_2 ４元系における高温 β-Ti 相の相安定性の M_1/M_2 比依存性」では，M_1 に Nb を，M_2 に V, Cr, Mo を選定し，Ti-42Al にこれらの元素を濃度比 (M_2/Nb+M_2) 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 相領域を調べた．その結果，各相間の Nb 及び M_2 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+M_2) 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 M_2 の M_1 当量は適用できない．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-M_2-Al または Nb-M_2-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-M_1-M_2 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 (M_2) 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-V３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-M_1-$M_2$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-V３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-V３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，優れた靭性及びクリープ特性を有することが示唆される結果を得た．

第７章「結論」では，各章で得た知見を総括し，今後の課題を述べた．