



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Nb基多元系合金における優れた高温特性を有する化合物相と延性相bccの相平衡 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	山野内, 拓也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12758号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65442
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuya_Yamanouchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 山野内 拓也

学 位 論 文 題 名

Nb 基多元系合金における優れた高温特性を有する 化合物相と延性相 bcc の相平衡
(Phase equilibria among compound phases having superior high temperature properties and ductile
bcc phase in multi-component Nb-based alloys)

現在、我々が直面しているエネルギー資源の枯渇や温室効果ガス排出による環境破壊等の問題に対し、主要な発電方法である火力発電を高効率化することで、 CO_2 排出量やエネルギー資源の使用量を低減させることが解決策の一つとして挙げられる。発電用ガスタービン用の発電効率を向上させるためには、耐熱材料の開発が大きな役割を担っている。特に、燃焼ガスが吹き付けられながら超高速回転するために、優れた耐酸化性、クリープ耐性が必要とされるタービン動翼の開発は高効率化を目指すうえで最も重要であるといえる。本研究では、新たなタービン動翼材料の候補の一つとして研究が行われている Nb 基合金に着目した。

現在タービン動翼に用いられている Ni 基超合金が耐酸化コーティングを施すことによって耐酸化性を確保しているように、Nb 基合金の耐酸化性向上のためにも耐酸化コーティングが不可欠である。Nb 基合金のコーティング材候補として研究されているのは主にシリサイドコーティングとアルミナイドコーティングの二種類であるが、いずれも内部拡散およびそれに伴う二次生成層の形成がコーティングの耐酸化性を劣化させる原因になっている。内部拡散および二次生成層形成の駆動力は基材とコーティング材の間の化学ポテンシャル差、すなわち互いに非平衡になっていることであるから、両者を相平衡させることによってこれを抑制することができる。しかしながら、高い耐酸化性を持つコーティング材である MSi_2 や $NiAl - B2$ は $Nb - bcc$ 相と相平衡せずに、高温において基材とコーティング層との間に二次生成層を形成してしまう。本研究では、これに関する状態図的アプローチを試みた。

本論文は全六章から構成される。

第一章では、序論として、B2 アルミナイドのニオブ基合金へのコーティングの可能性の検討とその問題点をまとめ、本研究の背景及び目的を述べた。

第二章では、二次生成相であるラーベス相の生成条件について調査した。Nb に固溶して高濃度の bcc 固溶体を形成する Cr および V を添加した $Nb - X(X; Cr, V) - Ni - Al$ 系について相平衡を調査した。各合金系において C14 構造を持つ Laves 相が $NiAl$ と (Nb, X) の間の広い組成域で現れて bcc_{ss} 、B2 と平衡するため、 $bcc_{ss}/B2$ 二相平衡域が $X - NiAl$ に沿った領域にしか現れず、C14 相の存在が $bcc_{ss}/B2$ 二相平衡達成のための障壁になっていることを指摘した。そこで、C14 相の相安定性や構成元素の置換挙動を原子サイズ因子および電子原子比から評価し、 $Nb(Ni, Al)_2 - C14$ 中の各サイトへの Cr や V の置換挙動を見積もった平均原子サイズから説明することが可能であることを示した。

第三章では、前章の結果から Mo や Pd の添加が C14 相安定性を減少させることが示唆されたため、種々の $Nb - Mo - Ni - Pd - Al$ 五元系合金を作製し、相平衡を調査した。Cr や V を添加した系と比較して、Mo や Pd を添加した系はより広い $bcc_{ss}/B2$ 二相平衡域を示した。

(Nb, Mo) – bcc_{ss} / (Ni, Pd)Al – B2 二相域はやはり C14 の相安定性に寄与するサイズ因子との相関性が確認され、 AB_2 – C14 相 ($A; Nb_x Mo_{1-x}, B; Ni_y Pd_{1-y} Al$) が仮想的に $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ であるとして描いた平均原子半径比 R_A/R_B の等高線が bcc_{ss} / B2 二相域と bcc_{ss} / B2 / C14 三相域の境界と平行に存在する傾向があることを明らかにした。低 Pd の組成域にはこの等高線に沿わない bcc_{ss} / B2 二相域と bcc_{ss} / B2 / C14 三相域の境界が現れているが、先述の仮想的な組成を持ち得る C14 相の電子原子比 e/a の等高線で説明でき、C14 相の相安定性が原子サイズのみならず電子原子比にも依存していることを示唆していることを明らかにした。

第四章では、合金にクリープ強さを与えるために必要な $\alpha Nb_5 Si_3 - T_2$ 相を導入するために、まず bcc_{ss} と T_2 の二相間の相平衡を明らかにした。この際、一般的に困難とされるボロンの定量分析に AES、SIMS、EPMA を組み合わせた手法の有用性を示した。その上で、 bcc_{ss} 、B2、 T_2 の三相の間の相平衡を明らかにし、Nb – Mo – Ni – Pd – Al – Si – B 七元系合金において bcc_{ss} / B2 / T_2 三相平衡が達成できることを確認した。

第五章では、B2 アルミナイドが Nb 基 bcc 固溶体と相平衡を保つために主要構成元素を Pd とした B2 アルミナイド相の $B2 \rightarrow \beta'$ 相変態抑制と高融点化を達成するために、 $PdAl - B2$ に対して種々の元素を添加しその影響を調べた。その結果、Rh を添加した Nb – Pd – Rh – Al 系では Nb – bcc との相平衡を満足する B2 の Rh/Pd 比は 1 を超え、 $B2 \rightarrow \beta'$ 相変態を効果的に抑制することができるとともに、共晶温度の上昇がもたらされることを明らかにした。

第六章では、本論文の総括を述べた。