

氏名	井尻 政孝
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第5550号
学位授与の日付	平成29年 3月24日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	特異な形状変化特性を有する新規チタン合金の開発とその発現機構の解明
論文審査委員	准教授 竹元嘉利 教授 多田直哉 教授 岸本 昭 教授 岡安光博

## 学位論文内容の要旨

本学で開発された Ti-4Fe-7Al (4FeA) は、焼入れ材 (WQ) を 450°C で焼戻すと、瞬時に 200Hv 以上も硬化し試料表面は凸凹になる。また、変形を与えて焼戻すと、ひずみを付与した方向に形状変化が自発的に進展するといった特異現象が発現する。本論文では、この特異現象の発現機構の解明と新規な合金開発を目的とした。

第1章：序論で研究背景、目的および本論文の構成と概要について述べた。

第2章：特異現象が発現する新規 Ti 合金の開発指針として、 $\beta$  下限組成の 2 元系 Ti 合金に 7% の Al 添加合金 (6MnA, 8CrA, 10MoA, 15VA, 35NbA) を作製し、全ての合金系で特異現象を確認した。

第3章：10MoA の U 字曲げ試料を加熱すると、200°C 付近で加工誘起  $\alpha'' \rightarrow \beta$  逆変態によって形状回復 (SR) し、さらに高温では  $\beta \rightarrow \alpha''$  変態によって曲げ方向に形状が進展 (SA) した。SA は残留ひずみに応じて特定の  $\alpha''$  兄弟晶が優先的に生成するため発現する。 $\beta \rightarrow \alpha''$  変態における TTT 線図が C 曲線を描くことから熱活性化型の変態であることを提唱したが、STEM-EDS 分析では  $\alpha''$  の組成分配は認められなかった。

第4章：35NbA の時効挙動を調査した結果、瞬時に硬化する 4FeA や 10MoA とは異なり、硬化開始までに潜伏期間を示した。また STEM-EDS 分析より原子拡散を伴った  $\alpha''$  変態であることを明らかにした。

第5章：溶体化処理から直接焼戻し温度に急冷保持した 4FeA について調査した結果、焼戻しと同等の硬化を示すが、多重  $\alpha''$  兄弟晶の形成により、変態ひずみが解消され表面起伏は生じなかった。

第6章：Ti-xNb-7Al (xNbA) を作製し、特異現象に及ぼす Nb 量の影響について調査した。WQ 材の組織は Nb 量の増加とともに  $\alpha''$  単相、 $\beta + \alpha''$  相、 $\beta$  単相へと変化した。また Nb 量が 23NbA 以下では瞬時に硬化したが、高組成合金では潜伏期間が現れ、拡散を伴った  $\alpha''$  変態であることを示唆した。

第7章：35NbA と 25NbA の  $\alpha''$  変態に及ぼす凍結空孔の影響について調査した結果、空孔は、35NbA では原子拡散を活性化し  $\alpha''$  変態を促進させるが、25NbA では  $\alpha''$  変態におけるせん断応力を増加させ  $\alpha''$  変態を抑制することを明らかにした。この特異現象を説明できる弓なりに湾曲した Ms モデルを提唱した。

第8章：本研究によって得られた成果を各章ごとに総括した。

## 論文審査結果の要旨

本論文では形状記憶合金とは異なる形状変化を示す新規Ti合金の開発を行い、その特異現象の全容を明らかにするとともに機能発現機構の解明を行った。特異現象が発現する合金組成はTi-X-7Al (mass%) と表せ、Xは $\beta$  (bcc) 型Ti合金における $\beta$ 下限組成である。X=4Fe, 6Mn, 8Cr, 15V, 10Mo, 35Nb合金の溶体化焼入材を室温でU字曲げを行い加熱したところ、いずれの合金も曲げ方向に形状が進展 (SA : shape advance) し、普遍的な現象であることを明らかにした。また弾性曲げのまま加熱してもSAは発現することから薄肉管製造プロセスに応用できる。さらにSAが生じたU字材を再び加熱・冷却すると、熱可逆的な形状変化を示すことからバimetalsとしての応用が期待される。特異現象の他の特徴として、450°Cで焼戻すと瞬時に200Hvほど硬化し、試料表面は凸凹になるが、溶体化温度から直接450°Cに急冷保持すると同程度の硬化を示すが、表面凹凸は現れない。これらの現象はマルテンサイトの $\beta \rightarrow \alpha'$  (斜方晶) 変態に起因しており、ひずみに応じて変態に有利な $\alpha'$ 兄弟晶が選択的に形成されるため特異な変形挙動が発現することを明らかにした。しかし合金によってはU字曲げ材の加熱で、形状回復 (SR) が現れた後、SAが発現する (2-way) ものと、SAのみ発現する (1-way) ものがある。また瞬時に硬化が開始するものと、一定の潜伏期間後に硬化するものがあることを指摘した。焼戻しによる $\beta \rightarrow \alpha'$ 変態機構を解明するため、Ti-xNb-7Al合金を作製し、変態挙動に及ぼすNb量の影響を調査した結果、低Nb合金では2-wayおよび潜伏期間なしの硬化を示し、高Nb合金は1-wayおよび潜伏期間後の硬化を示すことを明らかにした。以上のことから状態図上で $M_s$  ( $\beta \rightarrow \alpha'$ 開始) 曲線が、弓なりに張り出したモデルを提唱し、 $\beta \rightarrow \alpha'$ 変態に伴う特異現象の解明に成功している。

以上、本論文は金属材料の新しい変態機構を提唱するとともに、様々な分野への応用が期待されることから、博士 (工学) 学位論文としての価値は十分にある。