

氏名	薇 楽 絲
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博 甲 第 7667 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

Nano-domain structure and deformation mechanism in Ti-Nb-Zr-Ta-O alloys
(Ti-Nb-Zr-Ta-O 合金におけるナノドメインの構造及び変形メカニズム)

主査	筑波大学教授	工学博士	金 熙 榮
副査	筑波大学准教授	工学博士	古谷野 有
副査	筑波大学准教授	工学博士	谷本 久典
副査	筑波大学特命教授	工学博士	宮崎 修一
副査	物質・材料研究機構グループリーダー	博士(工学)	御手洗 容子

論 文 の 要 旨

Gum metals have been studied extensively due to their unusual mechanical and physical properties such as large non-linear elasticity, high strength, low Young's modulus, and Invar-like behavior upon a wide temperature range. These unique characteristics have made Gum metals attractive candidates for a wide range of applications such as eyeglass frames, medical implants and sporting goods. Over the years there have been many researches to elucidate the mechanisms of the unique properties of Gum metals. It has been recognized that interstitial oxygen atoms play a crucial role in achieving their unusual properties however the underlying mechanisms have not yet been established. Recently, the presence of martensite-like nano-domains was reported in Gum metals through systematic transmission electron microscopy experiments. It has been reported that the nano-domain structure is introduced to release the local stress field induced by interstitial oxygen atoms and the suppression of long-range martensitic transformation in Gum metals. In this study, in order to clarify the mechanism of Invar-like behavior of Gum metals, the effects of oxygen concentration and β stability on the nano-domain structure and thermal expansion were investigated. And also the deformation mechanism of Gum metal was investigated.

The effects of oxygen concentration, Nb concentration and cold rolling on the nano-domain structure and thermal expansion properties were investigated using the as-rolled and annealed specimens of Ti-xNb-2Zr-0.7Ta-yO (at %) ($x=21, 23, 25$; $y=0.3, 0.6, 1.2, 1.5, 1.8$) alloys, where the Nb content was varied to prepare alloys with different β phase stability. In the annealed alloys, normal positive thermal expansion behavior was observed in all compositions while, in the as-rolled alloys, thermal expansion behavior was strongly dependent on the oxygen and Nb concentrations. The linear thermal expansion

coefficient increased with increasing not only oxygen concentration but also Nb concentration. In the alloys with 23 at.%Nb, the as-rolled 0.3O alloy exhibited a large negative linear expansion coefficient and the 1.2O alloy exhibited almost zero thermal expansion. When the oxygen concentration is fixed as 1.2 at.%, the as-rolled 21Nb alloy exhibited a negative linear expansion coefficient and 23Nb alloy exhibited almost zero thermal expansion. The nano-domain structure is also strongly influenced by Nb and oxygen concentrations. The amount of nano-domains increased with increasing oxygen concentration while decreased with increasing Nb concentration, i.e. with decreasing β phase stability. In the annealed alloys, six variants of nano-domains were distributed randomly and uniformly. However, the growth of a preferential variant of nano-domain occurred in as-rolled alloys. The preferential growth of nano-domains became more prominent as the oxygen or Nb concentration decreased. The lattice constant of the β phase increased monotonically with increasing temperature in all alloys. It is concluded that negative thermal expansion coefficient and Invar-like behavior of Ti-Nb-Zr-Ta-O alloys is due to the lattice distortion strain of nano-domains, where the contribution of amount of lattice distortion strain increased with decreasing oxygen concentration or stability of β phase.

The deformation behavior of Ti-23Nb-2Zr-0.7Ta- x O (at %) ($x=0.3, 0.6, 1.2, 1.5, 1.8$) alloys was investigated. The shape of stress-strain curve was highly dependent on the oxygen concentration. The 0.3O alloy exhibited superelastic recovery with stress hysteresis upon unloading. With increasing oxygen concentration the apparent yielding stress increased and the stress hysteresis became narrower, implying that the stress martensitic transformation was suppressed by the oxygen. It was also found that the athermal omega phase affected the deformation behavior of the alloys and the oxygen suppressed the formation of the athermal omega phase

審 査 の 要 旨

[批評]

β 型チタン合金の一種であるゴムメタルは、大きな非線形弾性歪み、高強度、低ヤング率、広い温度範囲でのインバー効果など特異な性質を示すことで注目を集めてきた。これまでに、ゴムメタルの特異な特性について多数の論文が報告されているが、そのメカニズムについては不明な点が多い。本論文は、Ti-(21-25)Nb-2Zr-0.7Ta-(0.3-1.8)O 合金に着目し、酸素および Nb 濃度が、微細組織、熱膨張特性や力学特性に与える影響を系統的に調べ、ゴムメタルの特異な変態・変形挙動のメカニズムを初めて明らかにした重要な報告である。特に、熱膨張挙動が冷間加工、酸素濃度および β 相の安定性に強く依存することを明らかにし、これまで不明であったゴムメタルの特異な性質の起源を理解するための手掛かりが得られた点が高く評価できる。熱膨張特性には加工時に導入された内部応力や欠陥が重要な役割をすることを見出した。また、酸素添加により局所的にマルテンサイト相の構造に近いナノサイズのドメイン構造が形成されることやナノドメインの形成量が酸素の量と β 相の安定性に依存することを明らかにした。さらに、冷間加工により優先方位のナノドメインバリエーションが成長することを明らかにした。以上の実験結果により、ゴムメタルでのインバー効果は、格子振動による正の歪み成分とマルテンサイトナノドメインによる負の歪み成分が相殺し合った結果であることを見出した。これらの結果は、インバー特性を示す起源が明らかに

なり、チタン合金の熱膨張特性を制御する指針として非常に有用である。さらに、酸素はマルテンサイト変態および ω 相変態を抑制し、マルテンサイト誘起応力を上昇させるとともに応力ヒステリシスを減少させることを明らかにした。以上の結果は、今後の機能性チタン合金の合金開発や組織制御のための新たな指針となる結果であると判断される。

〔最終試験結果〕

平成 28 年 2 月 12 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。