

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Ti-Mo基合金の形状記憶・超弾性特性および内部組織に関する研究
Title(English)	Study on Shape Memory, Superelastic Properties and Microstructure of Ti-Mo Base Alloys
著者(和文)	遠藤一輝
Author(English)	Kazuki Endoh
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10506号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:細田 秀樹,稲邑 朋也,舟窪 浩,三宮 工,曾根 正人,中田 伸生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10506号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		遠藤 一輝	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	細田 秀樹		教授	審査員	曾根 正人	准教授
	審査員	舟窪 浩		教授		中田 伸生	准教授
		稲邑 朋也		准教授			
		三宮 工		講師			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は，”Study on Shape Memory, Superelastic Properties and Microstructure of Ti-Mo Base Alloys (Ti-Mo 基合金の形状記憶・超弾性特性および内部組織に関する研究)”と題し，全 6 章より構成されている。

第 1 章 ”General Introduction”では，Ti 基形状記憶合金について概説し， $\beta(\text{bcc})$ -Ti 基形状記憶合金の一般的な課題として，体温近傍までマルテンサイト変態温度を低下させると格子変形ひずみが小さくなること，超弾性の発現や形状記憶効果の安定化のための材料強化に有効な組織制御手法が未確立であることについて述べている．また，本研究の着眼点と目的について述べており， $\alpha(\text{hcp})$ 相が析出する際に，複数の α 相バリエーションが結合することで微細析出物が形成できうる可能性を指摘している。

第 2 章 “An Approach to Shape Memory Alloy Design”では，析出 α 相の形態と格子変形ひずみの観点による新しい合金設計指針を示している．幾何学的な計算により β 母相中の第二相 α 相の析出形態として，V 字型，三角錐型，四面体型が形成可能であること，そして，相変態前後で無ひずみかつ無回転となる不変線に着目し， β 相と α 相の格子定数比の制御により α 相クラスターの形態を選択することが可能であることを述べている．そして，マルテンサイト変態温度，格子変形ひずみ， β 相と α 相の格子定数比の三つの要素を制御できる合金系として，Ti-Mo-Sn-Zr 四元系合金が有望であると述べている。

第 3 章 “Effect of Sn and Zr Addition on Martensitic Transformation Behavior, Shape Memory and Superelastic Properties of Ti-Mo Alloys”では， β 相単相となる Ti-Mo 基合金のマルテンサイト変態温度，格子変形ひずみ，形状記憶・超弾性特性に及ぼす Sn および Zr 添加の影響について明らかにしている．Sn および Zr 添加は他の β 相安定化元素と比較し格子変形ひずみをあまり小さくせずにマルテンサイト変態温度を低下できることを見だし，これらより，良好な超弾性の発現が期待できる合金組成範囲を示すことに成功している。

第 4 章 “Effects of Composition and Aging Temperature on Morphology of α Precipitates and Superelastic Properties of Ti-Mo-Sn-Zr Alloys”では，第 2 章の材料設計の実験的検証を目的とし，Ti-Mo-Sn-Zr 合金中の α 相析出物の形状に及ぼす合金組成および熱処理温度の影響について調べている． α 相析出物の形態はほとんどの条件下で通常の Ti 合金に見られる孤立プレート型であるが，973K で時効処理を施した Ti-3Mo-6Sn-5Zr 合金においてのみ V 字型，U 字型および三角型になることを見だししている．これらの析出物の結晶学的関係を調べた結果，どの析出形態でも，Burgers の方位関係における最密平行方向である $\langle 111 \rangle_\beta$ を共有する α 相バリエーションの組み合わせからなること，および，V 字型，U 字型および三角型の α 相クラスターは観察断面が異なるだけの同じ三角錐型クラスターであることを明らかにしている．さらに，この三角錐型クラスターは微細かつ均一に分散し，すべり応力の向上と超弾性の発現に有効であることを示している。

第 5 章 “Crystallography and Invariant Line Strain of Conjugated α Precipitate in Aged Ti-Mo-Sn-Zr Alloys”では，透過型電子顕微鏡による解析と不変線理論を用いて，Ti-3Mo-Sn-5Zr 合金における析出 α 相の結晶学的特徴と α 相バリエーション間の結合面の幾何学を明らかにしている．本合金では，Sn 添加量を増加させると α 相の格子定数比 c_α/a_α も増加し，それにより α 相の析出形態は孤立したプレート型から，Zig-Zag 型，三角錐型と変化することを見だししている．また，Sn 濃度によらず，各 α 相バリエーションは母相と Burgers の方位関係を満たし，結合面は $\{1101\}_\beta$ Type I 双晶関係となり，晶癖面方位は $\{433\}_\beta$ に近いものであること，Sn 添加量の増加に伴い各 α 相バリエーションの不変線方向が $(0.50, 0.31, 0.81)_\beta$ から $(0.69, 0.24, 0.68)_\beta$ へと変化し，各 α 相バリエーションの不変線が α 相プレート間の稜線に一致するときに三角錐型クラスターが形成されることを明らかにしている．さらに，これら析出 α 相の形態は， α 相バリエーション間の弾性相互作用エネルギー計算による予想とも一致することを述べている。

第 6 章では，各章で得られた結論をまとめ，本研究の結論を述べている．これらを要するに本論文では，bcc β 母相中への hcp α 相の析出とその形状に着目し，微細かつ

均一分散し材料強化に有効な三角錐型 α 相クラスターの形成条件を解明し、生体用 β -Ti 基形状記憶合金のマルテンサイト変態温度と格子変形ひずみの制御に加え、超弾性の発現に有効な材料強化をも成し遂げる材料設計法を開発したものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。