

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	Sn過剰組成領域におけるTi-Cr-Sn 新規超弾性合金の開拓，特性解明および最適化に関する研究
Title(English)	Exploration, Characterization and Optimization of Ti-Cr-Sn Novel Superelastic Alloys in Sn-rich Region
著者(和文)	ParkMinsoo
Author(English)	Minsoo Park
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12090号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:細田 秀樹,木村 好里,曾根 正人,田原 正樹,CHANG TSO-FU
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12090号, Conferred date:2021/9/24, 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

(博士課程)

## 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	PARK, Minsoo		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	細田 秀樹	教授		田原 正樹	准教授
	審査員	木村 好里	教授	審査員	CHANG, TSO-FU	准教授
		曾根 正人	教授			
		稲邑 朋也	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Exploration, Characterization and Optimization of Ti-Cr-Sn Novel Superelastic Alloys in Sn-rich Region」と題し、英文で書かれ、全6章で構成されている。

第1章 "General Introduction"では、形状記憶合金の変形挙動と温度の関係、 $\beta$ Ti 基形状記憶合金の種類と現状、 $\beta$ Ti 基形状記憶合金の問題点を述べている。特に、格子変形ひずみが小さいこと、非熱的  $\omega$  相形成によるマルテンサイト誘起応力の上昇や適切な強化方法がないことなどを述べている。そして、 $\beta$ Ti 基形状記憶合金の開発のために Ti-Cr-Sn 三元系に着目した理由と、本合金系のこれまでの研究を総括し、本研究で Sn 過剰組成に着目したことを述べている。そして、本研究の必要性と、目的および本論文の構成を述べている。

第2章 "Effects of Cr and Sn Contents on Martensitic Transformation and Deformation Behavior of Ti-Cr-Sn Alloys" では、従来、Ti-Cr-Sn 三元系では研究されたことのない 5mol%以上の Sn 過剰組成領域において Cr と Sn の組成を系統的に変えた合金を作製し、その格子変形ひずみとマルテンサイト逆変態温度の組成依存性を明らかにしている。そして、Ti-Cr-Sn 三元組成図上に格子変形ひずみとマルテンサイト変態温度の等高線マップを作成し、その重ね合わせにより温度が室温近傍の時に超弾性が発現すると予想される組成範囲を明らかにしている。また、添加元素によりマルテンサイト変態温度を 1K 下げる際に格子変形ひずみを低下させる割合を求め、Cr 添加では -0.0042%/K、Sn 添加では -0.0040%/K であることを明らかにしている。さらに、Cr および Sn 添加は、他の添加元素よりも格子変形ひずみを低下させないため、より有効な添加元素であるとしている。

第3章 "Microstructure, Lattice Deformation Strain and Superelastic Properties of Ti-Cr-Sn Alloys" では、第2章で見出した室温で超弾性を示す Ti-2.5Cr-8.5Sn、Ti-3Cr-7.5Sn、Ti-3.5Cr-7Sn および Ti-4Cr-6.5Sn という4合金に着目し、超弾性に及ぼす微視組織と格子変形ひずみ影響について調べている。そして、各合金の結晶粒径や集合組織には大差がないが、0.5%の永久変形が残存する応力をすべり臨界応力と定義すると、Ti-2.5Cr-8.5Sn および Ti-4Cr-6.5Sn の2合金のすべり臨界応力が、他の合金のそれらよりも高く、かつ、形状回復ひずみがより大きく、したがって、より有望な合金であることを見出している。そして、Sn 添加量のより少ない Ti-4Cr-6.5Sn が、脆化相である  $Ti_3Sn$  の形成の危険性が少なく、より実用的に有望であるとしている。

第4章 "Effects of Solution Treatment on Microstructure and Superelastic Properties of Ti-4Cr-6.5Sn

Alloy"では、第3章において最良と判断した Ti-4Cr-6.5Sn 合金を対象に、より良い超弾性の発現のために、溶体化処理条件の最適化を目的としている。まず、本合金の  $\beta$  トランザスが 1093K から 1113K の間にあることを明らかにしている。そして、溶体化処理として、1093K~1273K で1時間の熱処理と、さらに、1093K, 1213K, 1273K において 0.3ks から 7.2ks まで時間を変えた熱処理結果を総合し、1213K が最適な溶体化処理温度であるとしている。

第5章 "Effects of Yttrium Addition on Microstructure, Phase Constitution, Shape Memory Effect and Mechanical Properties of Ti-2.5Cr-8.5Sn Alloy"では、Ti-Cr-Sn 超弾性合金の機械的性質の向上を目指し、Y 添加による  $Y_2O_3$  形成とそれによる結晶粒微細化、分散強化、固溶酸素の低減について Ti-2.5Cr-8.5Sn 合金を用いて研究をしている。Y 添加量を 0~1mol%まで変化させた結果、0.15mol% までは  $Y_2O_3$  の形成により  $\beta$  相中の固溶酸素量が低下し、 $\beta$  相の格子定数が低下すること、および、それ以上の Y 添加では酸素の枯渇により  $Y_5Sn_3$  も形成されるため  $\beta$  相の格子定数が増大することを明らかにしている。さらに、これら酸化物および金属間化合物の形成に伴い、 $\beta$  相の結晶粒径が減少し、機械的性質が変化すること、および、 $\beta$  相中の酸素量と Sn 量が増加することでマルテンサイト変態温度が上昇することを明らかにしている。これらを総合し、Y の微量添加は機械的性質の向上に有効であるとしている。

第6章 "General Conclusions"では、各章で得られた結言をまとめ、本研究の結論を述べ、また、今後の進展について言及している。

以上を要するに、本論文は、生体用超弾性チタン合金として 5mol%以上の Sn を含む Sn 過剰の Ti-Cr-Sn 三元系合金を系統的に調べ、本合金系で初めて室温で安定かつ大きな超弾性の発現に成功し、優れた超弾性特性を有する Ti-4Cr-6.5Sn 合金を見出し、さらにその最適な熱処理条件を決定している。また、本系合金の機械的性質の向上のための Y 添加の影響についても解明している。これらは、優れたチタン基超弾性合金の開発のみならず、今後の発展に大きく寄与する研究といえ、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価値の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。