

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	Ti-Mo-Al高温形状記憶合金の マルテンサイト時効に関する研究
Title(English)	Study on martensite aging of Ti-Mo-Al high temperature shape memory alloy
著者(和文)	野平直希
Author(English)	Naoki Nohira
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11778号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:細田 秀樹,舟窪 浩,曾根 正人,稲邑 朋也,中田 伸生,田原 正樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11778号, Conferred date:2022/3/26, 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

(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		野平 直希	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	細田 秀樹	教授	審査員	中田 伸生	准教授
	審査員	舟窪 浩	教授		田原 正樹	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、「Ti-Mo-Al 高温形状記憶合金の  $\alpha''$  マルテンサイト時効に関する研究」と題し、全 8 章で構成されている。

第 1 章「緒論」では、これまでの  $\beta$ -Ti 基高温形状記憶合金の開発を述べ、必要な条件と問題点を明らかにしている。特に実用的には  $\omega$  脆化が抑制され、動作温度近傍で保持しても性能が変化しないことを挙げている。そして、Ti 合金の基準 3 元系である Ti-Mo-Al 系を扱う重要性を述べ、本系で  $\beta$ -Ti 基高温形状記憶合金を研究し開発する重要性を述べている。その後、本論文の着想、研究目的、および本論文の構成を述べている。

第 2 章「Ti-Mo-Al 三元系合金の相構成および機械的性質に及ぼす Mo, Al 濃度の影響」では、これまで研究報告のある組成範囲の Ti-Mo-Al 合金では、 $\omega$  相の生成を抑制する効果のある Al 添加の量が不十分である可能性を指摘し、従来の研究範囲よりも Al 量の多い組成領域を研究する必要性を述べ、それにより非熱的  $\omega$  相( $\omega_{ath}$ )の生成を十分に抑制できるかを検証している。その結果、10mol%以上の Al を添加した合金では、 $\omega_{ath}$  の生成を十分に抑制できること、また、それにより本系で初めて室温超弾性の発現に成功したことを述べている。

第 3 章「Ti-Mo-Al 高温形状記憶合金の機械的性質に及ぼす Al 濃度および等温保持の影響」では、高 Al 添加による  $\omega$  相抑制効果について、動作温度である逆マルテンサイト変態温度以下の 393K で保持し、等温  $\omega$  相( $\omega_{iso}$ )生成の抑制効果について検証している。その結果、10mol%以上の Al 添加合金において、等温保持を行っても変形挙動は変化せず、 $\omega_{iso}$  の成長が抑制されていることを明らかにしている。また、393K 程度の使用温度の場合、10mol%以上の Al 添加合金が実用的な高温形状記憶合金として有望であることを述べている。

第 4 章「高 Al 含有 Ti-Mo-Al 形状記憶合金の組織に及ぼす Mo 濃度および等温保持の影響」では、 $\omega_{ath}$  と  $\omega_{iso}$  の両  $\omega$  相の生成と成長の抑制に有効であることが示された高 Al 添加合金について、より高温である 573K で等温保持し、組織と特性の変化を検証している。その結果、14mol%Al 添加合金では  $\omega$  脆化は示さないものの、等温  $\alpha''$  相( $\alpha''_{iso}$ )の生成と成長による脆化が見られること、このため、高温形状記憶合金としての適切な Al 添加量があることを示している。さらに、組織変化せず、延性も低下しない有望な合金が Ti-3.5Mo-11Al と Ti-4Mo-11Al であることを述べている。

第 5 章「Ti-4Mo-11Al  $\alpha''$  単相合金のパリアント再配列挙動に及ぼすマルテンサイト時効の影響」では、高温形状記憶合金として有望と判断された Ti-4Mo-11Al 合金に対し、 $\alpha''$  マルテンサイト単

相状態である 573K での等温保持によるマルテンサイト時効を行い、特性や組織の変化を調査している。その結果、573K のマルテンサイト時効により、組織や格子定数は変化しないが、時効時間の増加に伴いマルテンサイトバリエーションの再配列応力が上昇し、最終的には再配列が認められなくなり、形状記憶特性も劣化することを見出している。また、これは、これまで知られていなかった新しいタイプのマルテンサイト時効効果であることを示している。

第 6 章「マルテンサイト時効を施した Ti-4Mo-11Al 合金の変形挙動に及ぼす試験温度・変形速度の影響」では、第 5 章で見出した新しいマルテンサイト時効効果が、熱活性化過程を伴う機構によることを予想し、変形挙動の試験温度と変形速度の依存性を調べている。その結果、マルテンサイト時効後、室温では起こらなくなったバリエーション再配列が、試験温度を 573K とすると再び起こることと、また、変形速度をより低速にするとセレーションが見られることを明らかにしている。また、これらの結果を踏まえ、マルテンサイト時効の素過程について検討している。

第 7 章「Ti-4Mo-11Al 合金のバリエーション界面に及ぼすマルテンサイト時効の影響」では、バリエーション界面近傍に着目し、マルテンサイト時効後の組成分配や組織変化を観察し、また、それらに及ぼす熱履歴の影響について研究している。まず、溶体化処理後に水冷し、その後に 573K でマルテンサイト時効を行った試料について、3 次元アトムプローブで組成分析した結果、バリエーション界面近傍での組成変動は認められないこと、また、高分解能透過型電子顕微鏡観察の結果、格子像のスケールでも組織変化が見られないことを明らかにしている。一方、溶体化処理温度から 573K に直接焼入れて等温保持した場合には、時効に伴い  $\alpha$  相の格子定数や組織は変化することを見出している。これらより、573K での時効による組織変化とマルテンサイト時効の機構について議論している。

第 8 章「結論」では、各章の結論を総括し、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、 $\beta$ -Ti 基高温形状記憶合金として Ti-Mo-Al 三元系の高 Al 組成領域を系統的に調べ、10mol%以上の Al 添加が  $\omega_{\text{th}}$  と  $\omega_{\text{iso}}$  の両  $\omega$  相の生成と成長の抑制に有効であることを示し、393K 程度の高温保持に耐えうる高温形状記憶合金の開発に成功している。また、これを通し、本三元系合金で初めて室温超弾性の発現に成功している。さらに、新たなタイプのマルテンサイト時効効果を見出し、その特徴を明らかにしている。これらは、優れたチタン基形状記憶・超弾性合金の開発と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。