

Experimental Characterizations of Multistage Martensitic Transformation in Aged Ni-rich Ti-Ni Shape Memory Alloys

カーバクシュ ラバリ バナフシェ

<https://doi.org/10.15017/1398406>

出版情報：九州大学，2013，博士（学術），課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済



氏名・(本籍・国籍)	カーバクシュ ラバリ バナフシェ Karbakhsh Ravari Banafsheh (イラン)
学 位 の 種 類	博士 (学術)
学 位 記 番 号	総理工博甲第 8 7 4 号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 総合理工学府 量子プロセス理工学専攻
学 位 論 文 題 目	Experimental Characterizations of Multistage Martensitic Transformation in Aged Ni-rich Ti-Ni Shape Memory Alloys (Ni過剰Ti-Ni形状記憶合金時効材における多段階マルテンサイト変態の実験的解析)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 西 田 稔 (副 査) 准教授 原 徹 教 授 堀 田 善 治

論 文 内 容 の 要 旨

等原子比近傍の Ti-Ni 形状記憶合金は熱弾性マルテンサイト (以下 M) の変態・逆変態に伴い優れた形状記憶特性・超弾性を示すことから工業製品, 医科・歯科用器具など幅広い分野で利用されている. Ti-Ni 合金は固溶幅を持つ金属間化合物であり, Ni 側の固溶限は温度の低下とともに減少するため, Ni 過剰組成の合金は時効処理を施すことで第 2 相である Ti_3Ni_4 相を微細に析出させ機械的性質の向上が図られてきた. 近年, Ni 過剰 Ti-Ni 合金時効材において温度低下に伴い M 変態が段階的に起こる特異な現象が報告され注目を集めているが, その発現条件や機構については不明な点が多く, 本質的な理解に至っていない.

本研究では種々の組成を持つ Ni 過剰合金に系統的な時効処理を施し, 示差走査熱量分析 (以下 DSC: Differential Scanning Calorimetry), 走査電子顕微鏡 (以下 SEM: Scanning Electron Microscope) および透過電子顕微鏡 (以下 TEM: Transmission Electron Microscope) 観察により, 多段階 M 変態 (以下 MMT: Multistage Martensitic Transformation) が発現する時効組織の特徴, 変態経路およびそれらに及ぼす合金組成, 時効処理条件の影響を実験的に解析した.

本論文は以下の 7 章から構成される.

第 1 章では, 序論として Ti-Ni 形状記憶合金の特徴, 相変態の特徴, 形状記憶効果・超弾性の発現機構, 本合金の熱処理方法を概説し, MMT に関する研究背景を示し, 本研究の目的および本論文の構成について述べた.

第2章では、第3章から第6章に共通する研究方法を詳述した。

第3章では、典型的なMMTを示すTi-50.8 at.% Ni合金 500°C 1時間時効材の変態挙動と微細組織を調べ、3段階のM変態に対応したDSCのピーク面積（熱流束量）とSEM観察より得られた3つの特徴的な組織の面積を定量的に関係付ける実験式を提案し、変態経路を明らかにした。

第4章では、Ti-50.8 at.% Ni合金を用いて時効時間を一定としてMMTに及ぼす時効処理温度の影響を調べ、時効温度の上昇に伴いM変態が1段階、3段階、2段階に推移することを見出し、各々の時効材における微細組織の特徴を明らかにした。さらに、DSCによる部分熱サイクル実験とSEM内冷却・加熱その場観察によって変態経路の同定、動的観察および可視化を実現し、3章で提案した実験式と変態経路の妥当性を証明した。

第5章では、MMTに及ぼす合金組成、時効処理温度・時間の影響を系統的に明らかにするために、3種類のNi過剰Ti-Ni合金に様々な条件で時効処理を施し、DSC測定とSEM内冷却・加熱その場観察によって変態挙動を調査した。微細組織の形成は時効温度におけるNiの過飽和度に依存することならびに時効時間を調整することによって任意の微細組織を形成させ、MMTの変態挙動を制御できることを示した。さらにこれらの関係を温度-時間-組成を示す「組織及び変態機構図」として整理した。この機構図はこれまで報告されているMMTに関する様々な事象に体系的な理解を与えるものである。

第6章では、形状記憶合金の実用において問題となる変態挙動と微細組織に及ぼす熱サイクルの影響を調査した。相対的に高い変態温度を持つM変態は Ti_3Ni_4 相が微細に分散した領域で起こるため熱サイクルによる転位の発生が抑制され変態温度の低下は認められなかった。一方、低い変態温度を持つM変態は粗大な Ti_3Ni_4 相が散在する領域で起こるため、熱サイクルによって多量の転位が導入され変態温度が著しく低下した。これらの結果は4章において明らかにした変態経路の妥当性を示すものであり、同一試料においても微細組織の特徴によって熱サイクルに対する応答性が異なるというMMTの工学的応用における重要な知見が得られた。

第7章では、総括として本研究で得られた結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、Ni過剰Ti-Ni合金時効材における多段階マルテンサイト変態の発現機構、変態経路、熱サイクル効果を解明し、変態挙動に及ぼす合金組成、時効処理条件の影響を統一的に解釈できる「組織形成・変態機構図」を提案したものであり、材料組織学の発展に寄与するところが大きい。よって、博士（学術）の学位論文に値するものと認める。