

傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の機能特性改善

[研究代表者] 松井良介 (工学部機械学科)

研究成果の概要

Ti-Ni 系形状記憶合金 (以下 TiNi SMA) は疲労強度、耐食性及び生体適合性などに優れているため、コイルばね形状の各種アクチュエータをはじめ、ステントやガイドワイヤのような医療器具に至るまで様々な分野で応用がなされている。著者らのこれまでの研究において、変態温度を一つの材料内で段階的に変化させた傾斜機能 TiNi SMA (以下 FGSM) の製造プロセスを提案してきている。TiNi SMA では変態温度が Ni 濃度に応じて敏感に変化することが知られており、これを積極的に利用することを特徴とするものである。しかしながら、これまでの研究において明瞭な変形抵抗の傾斜機能特性を得ることが困難であった。以上の背景に鑑み、本研究では FGSM の変形抵抗について、明瞭な傾斜機能特性を発現させることを目的とした。その手段として、材料表面の材質改善が可能な超音波ショットピーニング (以下 USP) 処理に注目した。

本研究の結果は以下の通りである。デジタル画像相関法で得た応力-局所ひずみ曲線より、USP 処理後の FGSM において応力水平段のレベルが高くなる傾向にあることがわかった。これは USP 処理で加工硬化したことによるものである。また、USP 処理前の FGSM では明瞭な変形抵抗の傾斜機能特性が現れない一方で、USP 処理後の FGSM では Ni 濃度の上昇に伴って水平段の応力レベルは増大し、最大ひずみは小さくなる傾向が現れ、変形抵抗の傾斜機能特性が明瞭に発揮される。この結果は、より高 Ni 濃度の領域において USP 処理による加工硬化の度合いが高まることも示唆している。なお、両材料ともに除荷後の加熱によってひずみがほぼ完全に回復することを確認した。以上の一連の検討において、USP 処理が FGSM の変形抵抗を明瞭化する有効な手段であることを明らかにした。

研究分野: 材料力学、材料工学

キーワード: TiNi 形状記憶合金、超音波ショットピーニング、傾斜機能材料、画像相関法

1. 研究開始当初の背景

Ti-Ni 系形状記憶合金 (以下 TiNi SMA) は疲労強度、耐食性及び生体適合性などに優れているため、各種アクチュエータをはじめ、ステントやガイドワイヤのような医療器具に至るまで様々な分野で応用がなされている。

TiNi SMA のさらなる応用分野拡大のため、著者らのこれまでの研究において、変態温度を一つの材料内で段階的に変化させた傾斜機能 TiNi SMA (以下 FGSM) の製造プロセスを提案してきている。TiNi SMA では変態温度が Ni 濃度に応じて敏感に変化することが知られており、これを積極的に利用することを特徴とするものである。しかしながら、これまでの研究において明瞭な変形抵抗の傾斜機能特性を得ることが困難であった。

2. 研究の目的

前章で示した背景に鑑み、本研究では FGSM の変形抵抗について、明瞭な傾斜機能特性を発現させることを目的とした。その手段として、材料表面の材質改善が可能な超音波ショットピーニング (以下 USP) 処理に注目した。

FGSM に引張の負荷を与えながら、材料全体における局所ひずみ分布をデジタル画像相関法 (以下 DIC) で求め、変形抵抗の傾斜機能特性を詳細に調べた。

3. 研究の方法

(1) 試験片作製プロセス

FGSM は粉末冶金と塑性加工を組み合わせで作製した。まず、原料となる純 Ti 粉末と純 Ni 粉末を混合し、組成比

を段階的に変化させつつ黒鉛型に積層・充填した。次に、焼結温度 1023 K、保持時間 1.8 ks の条件で放電プラズマ焼結を行った。続いて、Ti と Ni の固溶化と組織の均質化を目的に溶体化処理を施した。溶体化処理後、ワイヤ放電加工によって焼結体から全長 29 mm、幅 5 mm、厚さ 1.1 mm の板状試験片を切り出した。Ni 濃度は板状試験片の長手方向に沿って段階的に変化する構造である。形状記憶熱処理を行った板材に対して表 1 の条件で USP 処理を施した。

表 1 USP 処理条件

Shot media	Material	SUJ2
	Diameter	0.8 mm
Amplitude of vibration tool	70 μ m	
Coverage	1000% (200 s)	

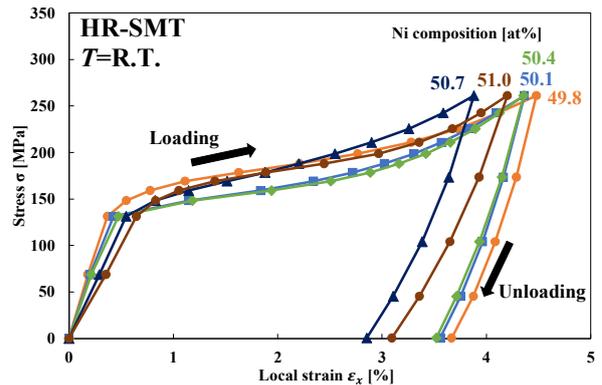
(2) 引張試験

FGSMA 全体の変形特性及び局所変形特性を明らかにするために引張試験を行った。DIC によって局所ひずみを測定するために、負荷及び除荷中の試験片をデジタルカメラで動画撮影した。

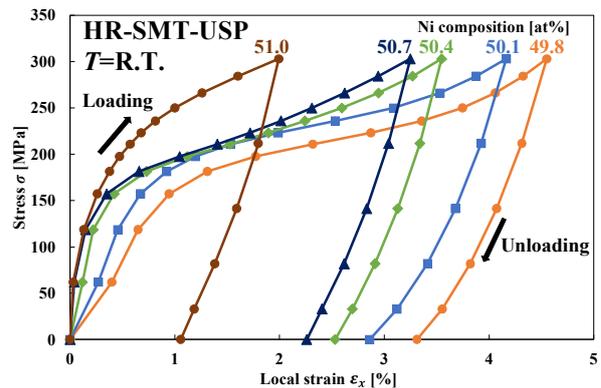
4. 研究成果

DIC で求めた FGSMA (USP 処理前後) の応力-局所ひずみ曲線を図 1 に示す。USP 処理前の材料は HR-SMT 材、処理後の材料は HR-SMT-USP 材と表記している。この図の横軸は、各 Ni 濃度に対応する領域における試験片軸線方向(長手方向)に沿った局所ひずみ ϵ_x の平均としている。これらの図からわかるように、応力水平段に注目すると、HR-SMT 材に比べて HR-SMT-USP 材の応力レベルが高くなる傾向にある。これは USP 処理で加工硬化したことによるものである。次に、各 Ni 濃度に対応する領域の局所的な変形特性について考える。図 1(a)からわかるように、HR-SMT 材では明瞭な変形抵抗の傾斜機能特性が現れない。一方で、図 1(b)に示す HR-SMT-USP 材では Ni 濃度の上昇に伴って水平段の応力レベルは増大し、最大ひずみは小さくなる傾向が現れ、変形抵抗の傾斜機能特性が明瞭に発揮されることがわかる。このように、Ni 濃度の上昇に伴って変形抵抗が増大する傾向は TiNi SMA の一般的な特性として知られている。別の検討で、Ni 濃度が上昇するとビッカース硬さは上昇し、変態温度は低下する傾向が現

れた。これは高 Ni 濃度の領域で変形抵抗が大きくなるとともに、超弾性的な変形特性を表すようになることを示している。したがって、HR-SMT-USP 材の局所変形特性はこれらの特性と傾向が一致している。以上の結果は、より高 Ni 濃度の領域において USP 処理による加工硬化の度合いが高まることも示唆している。なお、両材料ともに除荷後の加熱によってひずみがほぼ完全に回復することを確認した。



(a) USP 処理前 (HR-SMT 材)



(b) USP 処理後 (HR-SMT-USP 材)

図 1 USP 処理前後の FGSMA の応力-局所ひずみ曲線

5. 本研究に関する発表

- (1) 松井良介、宮本崇志、濱川悠太、服部兼久、“超音波ショットピーニングによる傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の機能特性の改善”、ばね論文集、68 号、pp.99-104、2023 年
- (2) 松田樹、濱川悠太、松井良介、服部兼久、“デジタル画像相関法を活用した傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の開発”、2023 年度春季ばね及び復元力応用講演会、2023 年