

# 超音波ショットピーニングによる TiNi 形状記憶合金ワイヤの疲労特性向上

[研究代表者] 武田亘平 (工学部機械学科)  
[共同研究者] 服部兼久 (東洋精鋼株式会社)

## 研究成果の概要

形状記憶合金(shape memory alloy, 以下 SMA)とは形状記憶効果と超弾性の二つの特性を持ったインテリジェント材料であり, 世界中でその応用が期待されている. SMA の中で最も多く実用されている材料は, 疲労寿命の優れている TiNi SMA である. TiNi SMA を実用する場合, 疲労特性を明らかにすることが必要である. また, 疲労寿命向上は重要な課題である. 本研究では, 超音波ショットピーニング(ultrasonic shot peening, 以下 USP)を施した試験片を用いて回転曲げ疲労試験を行い, その疲労強度を調査した. また, USP を施した後に追加熱処理を行い, その疲労特性に与える影響についても調査した. 得られた結果は次の通りである. (1) USP のカバレッジ 900% において, 全体的に疲労寿命が向上し最も効果的である. (2)カバレッジ 2000%の試験片に追加熱処理を施すことで応力誘起マルテンサイト変態開始応力レベルが低下するため, 高ひずみ域の疲労寿命は向上する.

研究分野: 材料力学, 実験力学

キーワード: 形状記憶合金, 疲労, 超音波ショットピーニング

## 1. 研究の背景と目的

形状記憶合金(shape memory alloy, 以下 SMA)は形大きな回復応力, エネルギーの貯蔵および散逸などのユニークな特性を有しており, 世界中でその応用が期待されている. SMA の中で最も多く実用されている材料は, 疲労寿命の優れている TiNi SMA である. TiNi SMA を実用するにあたって, 疲労特性を明らかにすることが必要である. また, 疲労寿命の向上は重要な課題である. 一方, 金属材料の疲労特性を向上させる方法としてショットピーニングがある. SMA にショットピーニングを施した場合の表面特性や耐食性などの組織評価に関するデータはあるが, 疲労寿命についてのデータは少なく, その詳細は明らかではない.

本研究では, 通常のショットピーニングと比べ, 金属材料の表面が粗くなりにくい超音波ショットピーニング(ultrasonic shot peening, 以下 USP)を施した試験片を用いて回転曲げ疲労試験を行い, その疲労強度を調査した. また, USP を施した後に追加熱処理を行い, その疲労特性に与える影響について調査した.

## 2. 試験片

供試材は株式会社古川テクノマテリアルより購入した直径 1 mm の Ti-50.94at%Ni SMA であった. この試験片を長さ 140 mm に切り出し試験片とした. この試験片へ USP または熱処理を施し, 回転曲げ疲労試験, 引張試験および示差走査熱量(Differential scanning calorimeter, 以下 DSC)測定を行った.

## 3. 実験の方法

引張試験はひずみ速度  $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , 室温大気中で行った. DSC 測定は加熱冷却速度を 10 K/min とし, 193 K から 393 K の間で行った. 回転曲げ疲労試験は設定ひずみとしては  $\epsilon_a = 1, 2, 3\%$  とし, 回転速度は 160 cpm, 室温大気中で行った. USP 処理は SMA 線材の全表面に施すために試験片を 12 rpm で回転させながら行った. 投射材粒径は 0.8 mm で, 材質はミニチュアボールベアリング用の SUJ2 であった. USP 後の追加熱処理条件としては 2 時間で 943 K に昇温, 5 分保持, その後炉冷であった.

4. 実験成果および考察

(1) 回転曲げ疲労特性

回転曲げ疲労試験の結果を Fig. 1 に示す. USP のみを施した場合, カバレッジ 900%の条件において最も疲労寿命が向上し, USP 材の中で最も効果的なカバレッジであることがわかった. また, カバレッジ 2000%の試験片に熱処理を施した場合では, 低ひずみ域ではそれほど変化が見られなかったが, 高ひずみ域では疲労寿命が向上した. これは追加熱処理の影響が考えられたため引張試験および変態温度測定を行い, その特性について調査した.

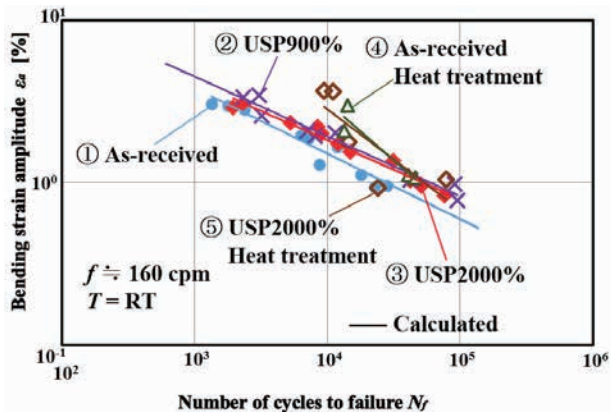


Fig. 1 Relationship between bending strain amplitude and the number of cycles to failure obtained by the rotating-bending fatigue test

(2) 引張変形特性

引張試験の結果を Fig. 2 に示す. USP のみを施した場合は, 高カバレッジになるごとに応力誘起マルテンサイト変態開始応力レベルが上昇した. これは加工硬化によるものだと考えられる. また, 熱処理のみを施した試験片では超弾性の特性を示さず, 高カバレッジの試験片に熱処理を施した場合は他のカバレッジの結果よりも応力誘起マルテンサイト変態開始応力レベルは低下していることがわかった. この応力レベルの低下が疲労寿命向上の原因だと考えられ, 高カバレッジの USP によって生成されたアモルファスが追加熱処理によって再結晶したと考えられるが, 詳細については今後の研究課題である.

(3) 変態温度特性

DSC 試験の結果を Fig. 3 に示す. (a)に加熱過程, (b)に冷却過程を示す. USP のみを施した場合は, 高カバレッジ

になるごとに変態のピークが緩やかになった. カバレッジ 2000%の試験片に追加熱処理を施した場合では, 変態のピークが明瞭となり, 変態温度が低下した.

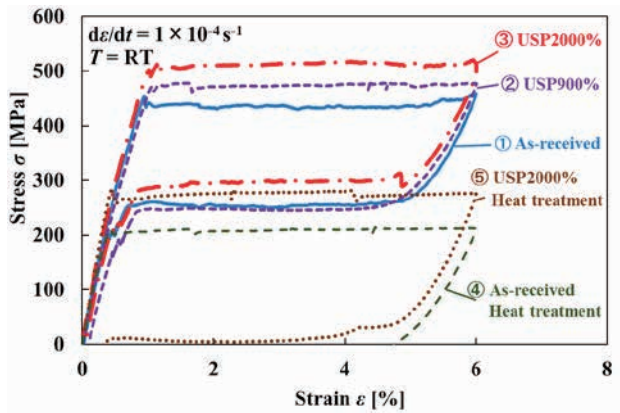
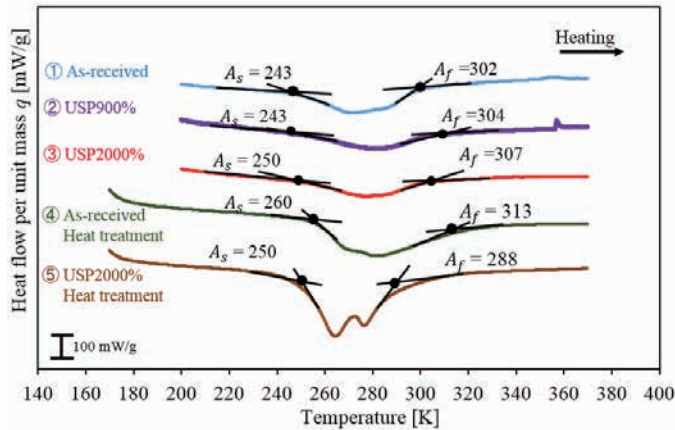
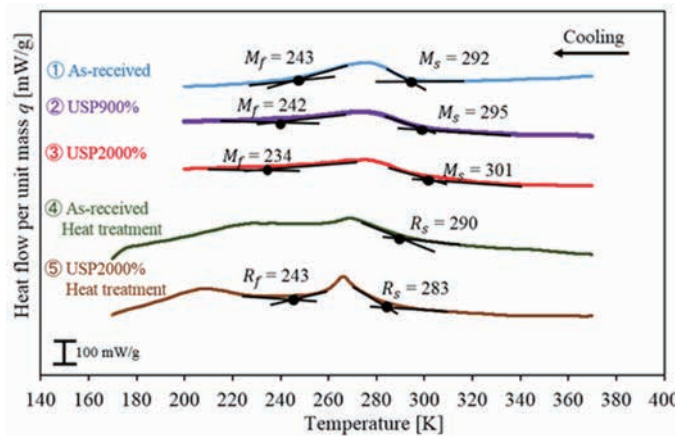


Fig. 2 Stress-strain curves of as-received, USP900%, USP2000% and USP2000% and heat-treated SMA wires



(a) Heating process



(b) Cooling process

Fig. 3 DSC thermogram of TiNi SMA wires