

TiNi 形状記憶合金の変態誘起クリープ回復における ひずみ回復速度と変態帯の進展挙動

[研究代表者] 武田亘平 (工学部機械学科)

研究成果の概要

形状記憶合金 (shape memory alloy, 以下 SMA) は、主にマルテンサイト変態に基づいて現れる他の金属にない形状記憶効果や超弾性というユニークな特性を示す。SMA の中でも、疲労寿命、変形特性および耐腐食特性から TiNi 系 SMA が実用において多く使用されている。SMA を実用する場合、変態に伴う変形挙動を正確に評価することが重要である。本研究では、実用を考慮したサブループ変形における TiNi SMA 板材の変態誘起クリープ回復についてひずみ回復速度と変態帯の進展挙動の関係を明らかにした。得られた結果は次のとおりである。(1) 応力除荷速度が高い場合、その除荷過程における温度変化が大きく、応力を一定に保持する時の応力が低くなる。(2) 試験片全体における大きな温度変化により試験片全体で逆変態が生じ、変態帯の界面が多く発生する。結果としてひずみ回復速度が高くなる。

研究分野：材料工学，実験力学

キーワード：TiNi 形状記憶合金，表面観察，変態誘起クリープ

1. 研究開始当初の背景

形状記憶効果や超弾性という通常の金属にはないユニークな特性を示す高機能材料に形状記憶合金 (shape memory alloy 以下 SMA) がある。室温で超弾性を示す SMA に負荷を加えた場合、応力誘起マルテンサイト変態により変態帯が現れ、それが進展することで変形が生じる。また、負荷の後、その応力を一定に保持することで変態誘起クリープが発生する。除荷の場合も同様に、変態誘起クリープ回復が生じる。SMA を駆動素子として様々な分野で利用するためには、この応力一定下で生じる変態誘起クリープおよびクリープ回復の特性を理解する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、除荷における変態誘起クリープ回復に着目し、室温において応力除荷速度を変えた試験を行い、一眼レフカメラおよびサーモグラフィを用いて観察し、変態誘起クリープ回復におけるひずみ回復速度および変態帯の進展挙動を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

供試材は古河テクノマテリアル(株)製 Ti-50.95at%Ni SMA 板材であり、室温で超弾性を示す。供試材から作製した試験片寸法を図 1 に示す。変態帯を観察するために、試験片表面にはバフ研磨による鏡面処理を施した。異なる応力除荷速度における変態誘起クリープ回復を解明するために、まず、ひずみ速度 $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ でひずみ 8%まで負荷し、試験片冷却のためにひずみ 8%で保持した。続いて、応力除荷速度 -1 MPa/s または -5 MPa/s でひずみ 6%まで除荷を行い、その後応力を一定に保持し変態帯と温度変化を観察した。変態帯の進展挙動および、温度変化の測定にはカメラおよびサーモグラフィをそれぞれ用いた。温度測定において精度を向上するために試験片には黒染めスプレーを施し黒体とした。

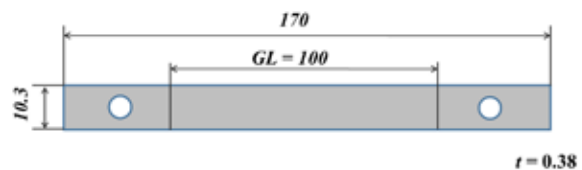


図 1 試験片寸法 (単位 mm)

4. 研究成果

(1) 応力-ひずみ関係とひずみ回復速度

応力除荷速度-1 MPa/s と-5 MPa/s のときの応力-ひずみ曲線を図2に示す. 図2からわかるように, 除荷過程の応力を一定に保持するひずみ6%における-1 MPa/s および-5 MPa/s の場合の応力値を比較すると応力除荷速度が高い場合にその値が低いことがわかる. これは, ひずみ8%から6%における除荷過程において速度が高い場合, 試験片の温度が大きく低下するためである. 応力を一定に保持するひずみ6%における応力値は, それぞれ-1 MPa/s の場合 232 MPa であり, -5 MPa/s の場合 200 MPa であった.

応力除荷速度が-1 MPa/s と-5 MPa/s の除荷過程のひずみ-時間の関係を図3に示す. 図3からわかるように, 応力除荷速度が高い場合, 応力一定下におけるひずみ回復時のひずみ速度は高い. これは, 温度変化に伴う逆変態の変態帯進展速度が高いことを意味する.

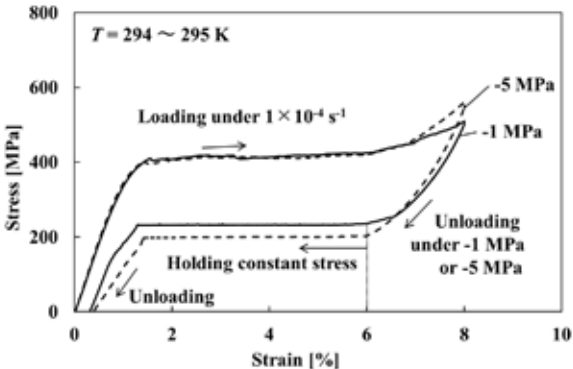


図2 応力-ひずみ曲線

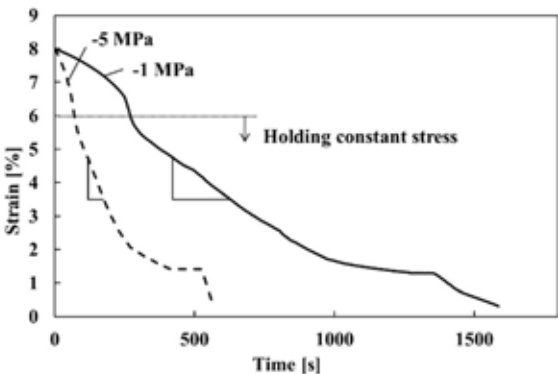
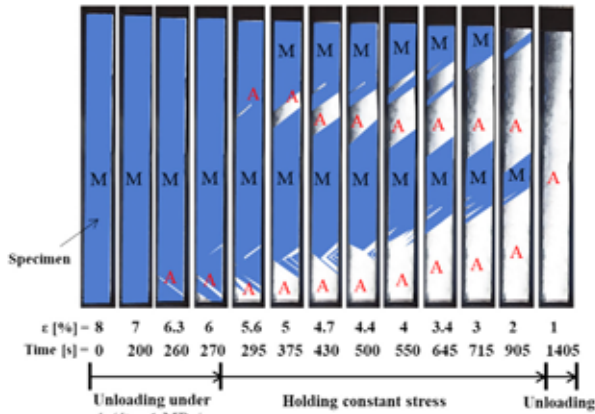


図3 異なる速度にて応力除荷した後の応力一定下におけるひずみ回復速度

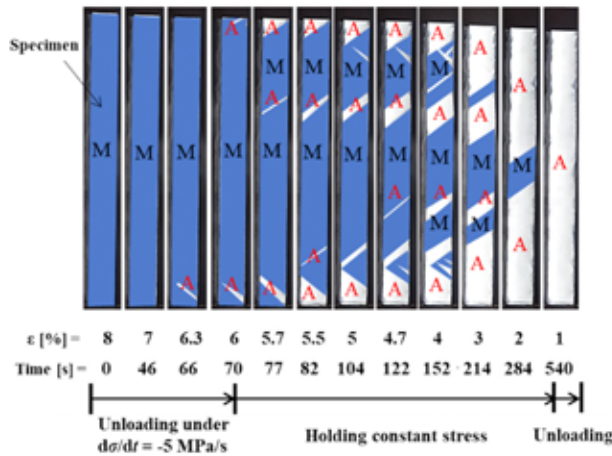
(2) 変態帯の進展挙動

除荷過程における応力除荷速度-1 MPa/s および-5 MPa/s のときの変態帯の進展挙動を図5にそれぞれ示す.

図中の試験片のマルテンサイト相領域を着色し, マルテンサイト相を「M」, オーステナイト相を「A」で表記する. 図5において, 応力除荷速度-1 MPa/s および-5 MPa/s のいずれの場合も, 除荷開始時(ひずみ8%)の初期相はマルテンサイトであり, 除荷が進んだひずみ6%近傍で約45度に傾斜したオーステナイト相の変態帯が生じる. ひずみ6%から応力を一定に保持し, その後の試験片表面の変態帯は, 変態帯発生時の吸熱反応により低下した温度が室温まで上昇されることによるクリープ回復によって進展する. また, 図5より, ひずみ8%から6%までに生じた変態帯が6%以後も進展していくだけでなく, ひずみ6%以後も新たにオーステナイト相の変態帯が生じていることが確認できる. さらに, 応力除速度-1 MPa/s より-5 MPa/s のほうが, 新たに生じた変態帯の数が多いこともわかる. これらのことから, -1 MPa/s より-5 MPa/s の場合は, 温度変化に伴う変態帯の発生が多くなり, ひずみ速度が高くなることが明らかとなった.



(a) -1 MPa



(b) -5 MPa

図5 異なる応力除荷速度における変態帯の進展挙動