

高機能 TiNi 形状記憶合金の開発

[研究代表者] 松井良介 (工学部機械学科)

研究成果の概要

TiNi 形状記憶合金の医療分野での具体的な適用例として、血管や消化管等の治療に用いられるステントがある。ステントは腐食環境である血管内に長期間にわたって留置されるため、腐食反応である Ni イオン溶出に起因するアレルギーを引き起こす、または早期に腐食疲労破壊することが懸念されている。しかしながら腐食環境における疲労寿命を明らかにした報告はほとんどなされていない。そこで本研究では、超音波ショットピーニング処理によって TiNi 形状記憶合金表面に薄い改質層を生成するとともに、圧縮残留応力を付与することによってこれを達成することを試みた。その結果、比較材に用いた黒皮付きの TiNi 形状記憶合金と比較し、超音波ショットピーニングと機械的研磨を施した試験片では 10%NaCl 水溶液中における回転曲げ疲労寿命が改善する結果を得た。この要因として以下の 3 点が挙げられる。1 つ目は USP 処理によって試験片表層部に生成された改質層の効果である。USP 処理によるピーニング効果で表層部に非晶質組織が形成され、耐食性が向上するという報告がある。本研究においてもこの効果が現れたと考えている。2 つ目は USP 処理による圧縮残留応力の付与効果である。USP 処理後には試験片表層部に最大 250 MPa の圧縮残留応力が確認された。3 つ目は表面粗さの低減効果である。USP 処理後に試験片表面を機械的に研磨した。従って表面粗さが低減し、マイクロな応力集中が抑制され、疲労き裂の発生を遅らせることができたと考えている。

研究分野：材料力学，材料工学

キーワード：TiNi 形状記憶合金，耐食性，アノード分極試験，腐食疲労，電解研磨，表面粗さ

1. 研究開始当初の背景

TiNi 形状記憶合金 (shape memory alloy, 以下 SMA) は、Fe 系や Cu 系をはじめとする他の合金系の SMA に比べて形状回復力が大きく疲労強度に優れることが知られている。そのため様々な分野で応用がなされており、特に医療分野での応用が盛んに進められている。医療分野での具体的な応用例として、カテーテル治療の際に用いられる自己拡張型ステントがある。ステントは腐食環境である血管内に長期間にわたって留置されるため、腐食反応である Ni イオン溶出に起因するアレルギーを引き起こす、または早期に腐食疲労破壊することが懸念されている。しかしながら腐食環境における疲労寿命を明らかにした報告はほとんどなされていない。

2. 研究の目的

前述の背景から、高機能 TiNi SMA 開発の一環として、

本研究では TiNi SMA の耐食性や腐食疲労寿命を明らかにし、さらにこれらを改善することを目的とした。具体的には超音波ショットピーニング (ultrasonic shot peening, 以下 USP) 処理によって TiNi SMA 表面に薄い改質層を生成するとともに、圧縮残留応力を付与することによってこれを達成することを試みた。

3. 研究の方法

供試材には (株) 古河テクノマテリアル製 TiNi SMA ワイヤ ($\phi 0.7$ mm, 黒皮付き) を使用した。これに大気中で 773 K-1h の形状記憶熱処理を施した後、機械的研磨を行って表面の黒皮を除去した。その後カバレッジ 500% (ピーニング範囲全体に 1 回衝突した場合を 100% とする、ピーニング強度を表す指標) になるよう USP 処理を施した。USP 処理には直径 0.8 mm の SUJ2 製投射材を使用した。USP 処理後には材料表面が粗くなるため、その後さらに機

械的研磨を行って表面性状を整えた。これを試験片とし、10%NaCl 水溶液中での回転曲げ疲労試験によって腐食疲労寿命を調べた。

4. 研究成果

USP 処理後に機械的研磨を行って作製した試験片について、10%NaCl 水溶液中における回転曲げ疲労寿命を図 1 に示す。この図には比較のため、黒皮付き供試材に対して一般によく行われる大気中での形状記憶熱処理 (773 K-1h) のみを施した材料の結果も併せて示している。この図からわかるように、USP 処理と機械的研磨を施した TiNi SMA の腐食疲労寿命は、比較材に対して今回実験を行ったひずみ域全体において疲労寿命が長いことがわかる。この主要な要因は以下のように考えている。1 つ目は USP 処理によって試験片表層部に生成された改質層の効果である。ピーニング効果で表層部に非晶質組織が形成され、耐食性が向上するという報告がある。本研究においてもこの効果が現れたと考えている。2 つ目は USP 処理による圧縮残留応力の付与効果である。USP 処理後には試験片表層部に最大 250 MPa の圧縮残留応力が確認された。3 つ目は表面粗さの低減効果である。USP 処理後に試験片表面を機械的に研磨した。従って表面粗さが低減し、ミクロな応力集中が抑制され、疲労き裂の発生を遅らせることができたと考えている。これらは当初期待していた USP 処理の効果であり、各効果の腐食疲労寿命への寄与度は今後の研究で明らかにする必要があると考えている。

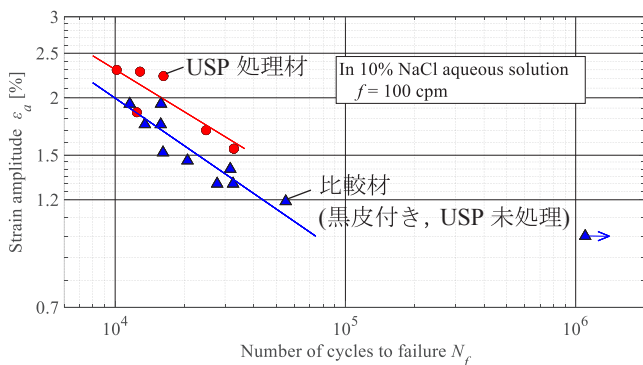


図 1 10%NaCl 水溶液中における各試験片の回転曲げ疲労寿命曲線

5. 本研究に関する発表

(1) 濱川悠太, 松井良介, “傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の局所変形特性に対する超音波ショットピーニングの効

果”, 形状記憶合金協会第 12 期ポスター発表会, オンライン, 2022 年

- (2) 山口裕也, 河合康克, 島村真人, 松井良介, 服部兼久, “TiNi 形状記憶合金焼結体の両振り曲げ疲労特性”, TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2022, オンライン, 2022 年
- (3) 桑原稜太郎, 松井良介, “不動態皮膜を有する TiNi 形状記憶合金の回転曲げ腐食疲労寿命”, TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2022, オンライン, 2022 年
- (4) 山田紘輝, 松井良介, 服部兼久, “超音波ショットピーニングを施した TiNi 形状記憶合金の腐食疲労寿命および疲労破面形態”, TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2022, オンライン, 2022 年
- (5) 松田樹, 池谷侑亮, 田中隆太郎, 山田紘輝, 松井良介, 服部兼久, “ショットピーニングによる TiNi 形状記憶合金の腐食疲労特性改善”, 日本機械学会 材料力学部門 形状記憶材料の特性向上と実用化に関する分科会 第 1 回研究交流会, オンライン, 2022 年
- (6) 橋本妃環, 谷口絢香, 松田樹, 桑原稜太郎, 松井良介, “薄い不動態皮膜を有する TiNi 形状記憶合金の腐食疲労寿命”, 日本機械学会 材料力学部門 形状記憶材料の特性向上と実用化に関する分科会 第 1 回研究交流会, オンライン, 2022 年
- (7) 宮本崇志, 濱川悠太, 松井良介, 服部兼久, 加藤章, “超音波ショットピーニングによる傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の機械的特性改善”, 2021 年度 ばね及び復元力応用講演会, オンライン, 2021 年
- (8) 桑原稜太郎, 奥村雅斗, 松井良介, “電解研磨と熱窒化処理による TiNi 形状記憶合金の長寿命化”, 日本機械学会材料力学部門 M&M2021 材料力学カンファレンス, オンライン, 2021 年
- (9) 山田紘輝, 奥村雅斗, 松井良介, 服部兼久, “超音波ショットピーニングおよび電解研磨を施した TiNi 形状記憶合金の腐食疲労特性”, 日本機械学会材料力学部門 M&M2021 材料力学カンファレンス, オンライン, 2021 年
- (10) 宮本崇志, 松井良介, 服部兼久, 加藤章, “画像相関法による傾斜機能 TiNi 形状記憶合金の局所ひずみ計測”, 日本実験力学会 2021 年度年次講演会, オンライン, 2021 年