231 多機能金属複合材料の作製と特性評価

Fabrication of Multi-functional Metal Composites and Their Characteristics

正 浅沼 博 (千葉大)

Hiroshi ASANUMA

Chiba University, Yayoicho 1-33, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

This paper describes development of an active and sensitive composite based on a simple metal composite. To realize this material system, continuous titanium fiber was embedded in aluminum matrix together with stainless steel reinforcement fiber, of which surface was oxidized to be insulated from matrix to form a heater and a temperature/strain sensor. It successfully actuated and sensed temperature and electric resistance changes with the multi-functions of the embedded TiO_2/Ti fiber.

Key Words : Smart Material, Active Composite, Metal Matrix Composite, Heater, Sensor

1. 緒言

著者はこれまで表面酸化ニッケル線 (NiO/Ni 繊維) をアルミニウムマトリックス中に埋め込み、温度・ひずみセンサとして機能させる研究を行ってきた¹⁾。本研究ではさらに発熱機能を付与するためニッケル線より比抵抗の大きいチタン線を用い、 NiO/Ni 繊維の場合と同様の機能に加え発熱機能についても評価した。また、強化繊維としてステンレス鋼線も同時に埋め込み、アクティブ化を試みた。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材：マトリックス材として厚さ 0.2, 0.4mm, 長さ 30mm, 幅 30mm のアルミニウム板 (A1050P-O), 機能繊維として $\phi 0.15\text{mm}$ のチタン線 (純度 99.5%), 強化繊維として $\phi 0.18\text{mm}$ のステンレス鋼線 (SUS304) を用いた。

2.2 TiO_2/Ti 繊維の作製：純チタン線を電気炉により大気中、温度 873~1173K, 保持時間 0.9~7.2ks で酸化させた。

2.3 複合材料の作製：Fig. 1 に示すように厚さ 0.4mm のアルミニウム板に付けた U 溝に TiO_2/Ti 繊維を配列し、上に厚さ 0.2mm のアルミニウム板を合わせ、大気中、温度 798K, 圧力 16.4MPa, 時間 1.8ks でホットプレスした。

2.4 温度測定：Fig. 2 に示す試験片の一端を加熱し他端を冷却し温度勾配を与えた。 TiO_2/Ti 繊維切欠き部 (試料中央部) とマトリックスとの間に発生する熱起電力を測定し、予め求めた熱起電力特性から温度を算出した。また、試験片の表面温度を K 熱電対で測定し切欠き部直上の温度を求め、両者を比較した。

2.5 ひずみ測定：Fig. 3 に示す引張試験片を、 TiO_2/Ti 繊維の抵抗をモニタしながら引張速度 $1 \times 10^{-4}\text{mm/s}$ で試験した。

2.6 発熱機能の評価： TiO_2/Ti 繊維を長さ 110mm に切断し、両端 10mm の酸化膜を除去しターミナルとした。これに 0.6~1.2A の電流を 2.4ks 通電し、この時の繊維中央部の表面温度を K 熱電対で測定した。

2.7 アクティブ複合材料の作製と評価：Fig. 4 に示すように、厚さ 0.2mm のアルミニウム板に 1mm 間隔に U 溝を付け、円周切欠き付き TiO_2/Ti 繊維と強化繊維を交互に配列した。これより Fig. 5 に示す長さ 30mm, 幅 8mm の試験片を切り出し、外側 2 本の TiO_2/Ti 繊維を通電用、その内側の 1 本を熱起電

Fig. 1 Fabrication of the TiO_2/Ti fiber embedded aluminum.

Fig. 2 The specimen for measurement of temperature.

Fig. 3 The specimen for tensile test and measurement of electrical resistance.

力および電気抵抗測定用とした。まず通電の電流値を 0.2A に設定し、通電開始 0.3ks 後から 0.06ks の間に全ての測定 (試験片の 3 点の座標, 中央の表面温度, TiO_2/Ti 繊維の電気抵抗, マトリックスに対する熱起電力) を行い、終了後には電流値の増加と全測定を繰り返した。

3. 実験結果および考察

3.1 TiO_2/Ti 繊維のアルミニウムへの埋め込み：大気中、温度 1073K, 保持時間 1.8ks の酸化条件で得られた TiO_2/Ti 繊維の場合に絶縁可能かつ損傷のない良好な結果が得られた。この場合の酸化膜厚さは Fig. 6 に示すように約 $2.5 \mu\text{m}$ である。

Fig. 4 A cross section of the active composite with embedded TiO_2/Ti fiber.

Measurement of thermal electromotive force or electrical resistance

Fig. 5 The active composite with embedded TiO_2/Ti fiber.

3.2 温度測定機能の評価: TiO_2/Ti 繊維のアルミニウム線に対する熱起電力を測定した結果, 温度上昇とともに熱起電力が単調に増加し温度センサとして機能すること, および温度測定限界は 700K 付近であることがわかった. この特性を用い, アルミニウム中に埋込んだ TiO_2/Ti 繊維の切欠き位置における熱起電力から温度を求めた結果は 373K であり, その直上における試料表面温度の測定結果 370K とほぼ一致しており, 繊維は切欠き部の温度を正しく測定していることがわかった.

3.3 ひずみ測定機能の評価: TiO_2/Ti 繊維埋込みアルミニウムの引張試験を行ったときの試験片のひずみと TiO_2/Ti 繊維の電気抵抗の関係を調べた結果, 電気抵抗はひずみの増加に伴ってほぼ直線的に増加することがわかり, TiO_2/Ti 繊維はひずみセンサとして機能することがわかった.

3.4 発熱機能の評価: TiO_2/Ti 繊維に通電したときの表面温度と時間との関係を調べた結果を Fig. 7 に示す. 同図より, 通電開始直後に表面温度は急上昇し, その後ほぼ一定になることがわかる. 電流値が 0.9A 以下では 2.4ks 後も表面温度はほぼ一定で, この繊維は発熱体として安定して機能する. しかし, 1.0A 以上では時間とともに表面温度が上昇し, 1.2A では 1.2ks 付近で繊維が焼き切れた.

3.5 アクティブ複合材料: Fig. 6 には, 埋込み TiO_2/Ti 繊維に通電した時の複合材料の表面温度と曲率との関係を示す. 同図より, TiO_2/Ti 繊維は複合材料を駆動するヒータとして機能すること, 複合材料の曲率は温度上昇とともに減少することがわかる. 複合材料に通電した時の TiO_2/Ti 繊維による温度測定結果と熱電対による表面温度測定結果の関係は, 温度が 500K 付近まで上昇し試験片はほぼ平らになるまで変形しているにもかかわらず両者は良く一致しており, TiO_2/Ti 繊維は変形時にも温度センサとしての機能を維持することがわかった. 複合材料の曲率はこの測定された温度によりモニタ可能である. 複合材料に通電した時の表面温度と埋込み TiO_2/Ti 繊維の電気抵抗値との関係については, 温度上昇とともに電気抵抗値がほぼ直線的に増加することがわかった. この増加

Fig. 6 A cross section of the TiO_2/Ti fiber embedded in aluminum matrix.

Fig. 7 Effects of electric current and time on temperature of the TiO_2/Ti fibers.

Fig. 8 Effect of temperature on curvature of the active composite.

は温度変化と曲率変化によるひずみの変化の2つの要因によるものであるが, この値自体も曲率のモニタに利用できる.

4. 結言

TiO_2/Ti 繊維は, アルミニウムマトリックス用の温度センサ, ひずみセンサ, 発熱体として単独に機能するばかりでなく, それらを同時に実現できる優れた多機能繊維であり, 熱変形型アクティブ材料の発熱体・変形モニタ用センサとして極めて有用である.

参考文献

- 1) H. Asanuma, The Development of Metal-Based Smart Composites, JOM, 52, 10(2000), 21.