

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 8 日現在

機関番号：13902

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560085

研究課題名(和文) 精密鋳造によるチタン-ニッケル-ジルコニウム高温形状記憶合金アクチュエータの開発

研究課題名(英文) Development of Ti-Ni-Zr high temperature shape memory alloy actuator by precision casting

研究代表者

北村 一浩 (Kitamura, Kazuhiro)

愛知教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：40332035

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題により以下の成果が得られた。

(1) Ti-Ni-Zr高温形状記憶合金鋳造材の作製に成功した。(2) 鋳造に用いた型とほぼ同様の形状の鋳造材試料が得られた。(3) 作製したアクチュエータは、130℃以上で完全に動作した。(4) 示差走査熱量計、エックス線回折装置、引張試験機を用い、鋳造材の形状記憶特性を明らかにした。(5) 冷間圧延による予ひずみの導入により、1回限りであるが逆変態終了温度が200℃程度まで上昇した。

研究成果の概要(英文)：The following results were provided by this research.

(1) The Ti-Ni-Zr actuators are fabricated by centrifugal casting using P/M ingot. (2) The actuators same as a model were made by casting. (3) The actuator worked in 130 degrees Celsius. (4) I clarified the shape memory characteristic of casting specimens. (5) It was only for it once, the reverse martensitic transformation temperature rose 200 degrees Celsius by the introduction of the pre-strain.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：高温形状記憶合金 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

(1) 今後成長が期待される環境技術の中で、自動車や航空機の「エンジン軽量化」による「CO₂削減」が特に期待されている。形状記憶合金アクチュエータは、単位体積あたりの仕事はモータの100倍以上もあり、モータや油圧と比較してアクチュエータの小型・軽量化が可能である。このような特性を利用して、温水シャワーの温度調節機構やロケットの分離機構、小惑星探査機「はやぶさ」の試料回収カプセルの開閉などに応用されている。しかし、Ti-Ni 2元系合金のアクチュエータは、100以上の温度では動作せず、エンジンなど高温になる場所での使用が不可能である。このため、より高温で動作する形状記憶合金アクチュエータの実用化が必要であり、市場からも求められている。

(2) 高温形状記憶合金の開発は古くからおこなわれていて、Ti-Ni-Pd系の材料の研究がV. N. Khachinら(Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 257 (1981) pp.167-169)により1981年からおこなわれている。さらにPdをZrやHfなどに置き換え、高温で動作する材料の研究が多くのおこなわれている。宮崎らはTi-Ni-Zr系とTi-Ni-Hf系高温形状記憶合金にNbを加えることにより、60%以上の加工率で破断しない材料を作製している(United States Patent Application 20090218013)。

上記の先行研究などより、Ti-Niに第3元素としてPdやAu、Zrなどを添加すると、駆動温度が上昇することが一般的に知られていて、現在300以上の高温で駆動する形状記憶合金が開発されている。しかし、「材料の脆さ」や「加工性の悪さ」が問題となり、高温形状記憶合金の応用品は現在でも存在しない。研究代表者はTi-Ni 2元系形状記憶合金を、溶かした材料を型に流し込み形を作る「鑄造法」を用いて試料を作製する方法を研究しており、この方法を用いれば、試料加工時に試料中に割れなどが生ずることないアクチュエータを作製できる。

2. 研究の目的

一般にTi-Ni 2元系合金は難加工材であり複雑形状の作製には、放電加工やレーザ加工などの特殊加工が必要で加工費用が高額になる。そのため、このような加工は医療分野への応用に限定されていて、民生分野の応用の中心は、線材を目的の形状に加工し、その後形状記憶処理を行ったものである。

一方、ほとんどの金属では、鑄造が行われている。形状記憶合金の世界では、鑄造と言うと合金インゴットの作製のために原料を配合し、溶解・鑄造することを指していて、一般の金属で行われているような、二次加工としての鑄造は考えられていなかった。この理由は、Ti-Ni 2元系合金は組成や内部組織に敏感であり、さらに酸化も起こりやすいた

め、鑄造材では、良好な形状記憶効果が発現しなかったからである。研究代表者は、粉末から作製した合金インゴットを用い、チタン用遠心鑄造機を用いて鑄造を行うことにより、良好な形状記憶特性を有するTi-Ni系形状記憶合金精密鑄造材の作製に成功した。図1にその作製装置の写真を示す。本研究では、Ti-Ni 2元系よりも材料が脆く、加工が困難な高温形状記憶合金を、「精密鑄造法」を用いて直接目的形状に鑄造する事によりこの問題を解決する。



図1. 遠心鑄造装置

3. 研究の方法

従来の溶解法で作製した合金インゴットには、ある程度の析出物が存在する。また、TiとNiで比重の差が大きく、重力偏析が起こりやすく、鑄造用には適さない。この理由は、合金インゴット中の偏析が大きいために原因である。そのため研究代表者は、従来の溶解法で作製された合金インゴットではなく、Ti、Ni、Zrの金属粉末から合金インゴットを作製し鑄造に使用した。金属粉末から作製した合金インゴットの特徴は、TiとNi、Zrの化学反応時の反応熱を利用して合金化させるプロセスにある。このプロセスでは、TiとNi、Zrが化学変化により合金化するため、Ti-Ni以外の物質が出来にくい特徴がある。またインゴットは、反応中、金属の融点以上の高温となり、その後急激に冷やされるため、析出物の析出が抑えられ、合金組成のバラツキや析出物による内部組織への影響を極力抑えられる。この方法で作製された合金インゴットをチタン用遠心鑄造機で再溶解し、目的の製品を得た。鑄造には、3次元形状を精密に再現できる、「ロストワックス法」を用いた。このような製品は、冷間加工が導入されていないため、形状記憶特性の向上に、加工強化を利用できない。しかし、次に述べる冷間圧延を施すことにより、冷間加工を鑄造材表面に与えることができる。

4. 研究成果

(1) Ti-Ni-Zr 高温形状記憶合金鑄造材の作製に成功

従来、研究代表者の研究グループでは、粉末から作製された合金インゴットを出発材料として、遠心鑄造機を用いてTi-Ni 2元系合金の試料を作製している。同様の装置、型、及び埋没材を使用する事により、Ti-Ni-Zr 3元系の高温形状記憶合金鑄造材の作製に初めて成功した(図2参照)。この材料は、全ての熱処理条件の試料で、完全な形状記憶効果を示した。



図2. Ti-Ni-Zr 高温形状記憶合金鑄造材

(2) 鑄造材の形状記憶特性

図3は、400 -1時間熱処理材の示差走査熱量(DSC)測定結果を示している。図より、冷却時には1段階でオーステナイト相からマルテンサイト相に変態していることが見て取れる。また加熱時には、マルテンサイト相からオーステナイト相に3段階で逆変態している。この結果から、本研究で得られた鑄造材は、単一相ではなく、3相に相分離していることが明らかになった。最も温度が高い逆変態終了温度は、120 であり、Zrを5%添加した試料は、Ti-Ni 2元系試料よりも30程度逆変態終了温度が上昇した。

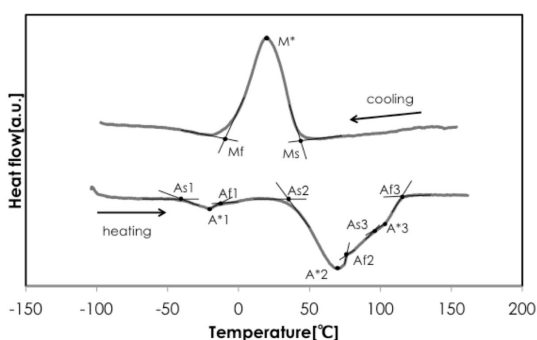


図3 400 -1時間熱処理材のDSC曲線

(3) Ti-Ni-Zr 鑄造材の機械的特性

次に Ti-Ni-Zr 鑄造材の機械的特性について示す。図4は、圧延を施していない試料の、各熱処理温度における、応力-ひずみ曲線を示している。2%引張試験結果より、それぞれの熱処理温度別で応力-ひずみ曲線の比較を行ったが、マルテンサイト誘起応力が試料により異なり、熱処理温度依存性は見られな

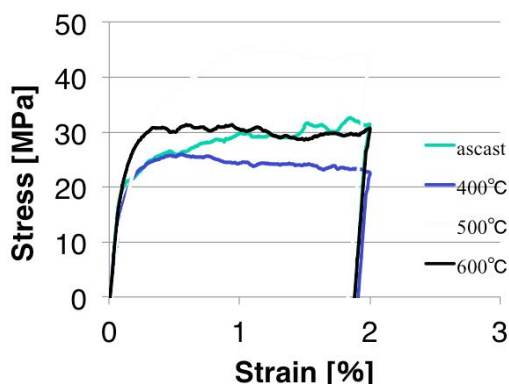


図4 圧延していない試料の応力-ひずみ曲線

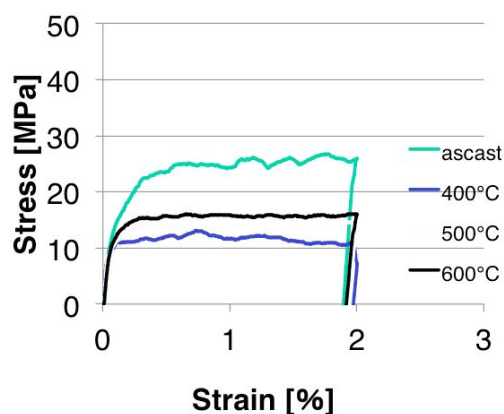


図5 . 圧延を施した試料の応力-ひずみ曲線

かった。またリューダースライクな変形領域においても、応力が一定ではなく増減が見られた。これは試料が3相に分離しており、内部組織が安定していないためであると考えられる。

図5は、10%冷間圧延を施した試料の、各熱処理温度における、応力-ひずみ曲線を示している。それぞれの熱処理温度別で応力-ひずみ曲線の比較を行った。その結果、リューダースライクな変形領域の応力が一定になった。このことは、圧延により内部組織が安定化したことを示している。また、マルテンサイト再配列応力は、As-cast 材を除き、熱処理温度の上昇にともなって、上昇した。

(4) 冷間圧延による変態温度の上昇

佐久間らは、Ti-Ni 2元系合金に対し、熱処理後、予ひずみを与えることで、逆変態温度が1回のみ上昇することを報告している。(日本金属学会誌 第69巻 第8号(2005) pp.575-580)。研究代表者らは、Ti-Ni-Zr 鑄造材に対し、熱処理後10%の冷間圧延を施すことにより、予ひずみを与えた。この結果、いずれの熱処理温度の試料でも、逆変態終了温度が最初の1回のみ、上昇することが明らかになった。図6は、600、1時間熱処理材のDSC測定結果を示している。図6より、予ひずみの効果により、逆変態終了温度が100程度上昇することがあきらかになった。

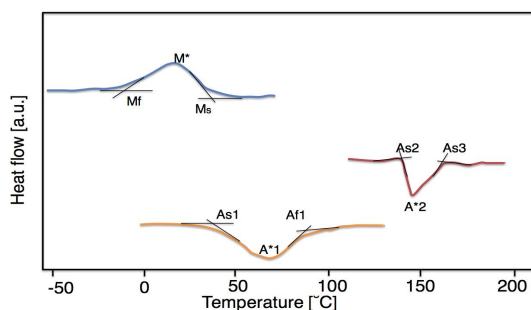


図 6. 600 - 1 時間材の DSC 曲線

この性質を利用すれば、1 回のみであるが、130 で動作を始める形状記憶合金アクチュエータの作製が可能となる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kazuhiro Kitamura, Ti-50.2Ni-5Zr Shape Memory Alloy Square Rots Production by the Casting Technique、Materials Science Forum、査読あり、Vol. 783-786、2014、2445-2449
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.2445

〔学会発表〕(計 2 件)

Kazuhiro Kitamura, Ti-50.2Ni-5Zr Shape Memory Alloy Square Rots Production by the Casting Technique, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials 2013, Dec. 2-6, 2013, Las Vegas, USA

Kazuhiro Kitamura, Fabrication of Ti-Ni-Zr High Temperature Shape Memory Alloys by Casting Process, The International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies 2013, May 21-24, 2013, PragueCzech Republic

6 . 研究組織

(1)研究代表者

北村 一浩 (KITAMURA, Kazuhiro)
愛知教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：4 0 3 3 2 0 3 5