

1908 精密鑄造法により作製された TiNi 形状記憶合金の機械的性質

Mechanical Properties of TiNi Shape Memory Alloy made by Lost Wax Fine Casting

○学 沢田 豊 (三重大・院)

正 徳田正孝 (三重大・工)

正 稲葉忠司 (三重大・工)

正 北村一浩 (長野高専)

Yutaka SAWADA, Masataka TOKUDA, Tadashi INABA, Department of Mechanical Engineering, Mie University, Kurimamatiya1577, Tsu, 514-8507, Japan

Kazuhiro KITAMURA, Department of Mechanical Engineering, Nagano National College of Technology, Tokuma716, Nagano, 381-8550, Japan

By using lost wax fine casting and self-propagating high-temperature synthesis (SHS), we made the new TiNi shape memory alloy (SMA) that is homogeneous and arbitrary shape. The purpose of this research is to clarify the mechanical properties of TiNi shape memory alloy made by lost wax fine casting and to help practical application of this new material. In this study, we performed the tensile tests under various temperatures to this material and observed the deformation behavior. In this paper, the obtained results are shown and discussed.

Key Words: Lost Wax Fine Casting, Self-propagating High-temperature Synthesis, Shape Memory Alloy

1. 諸言

形状記憶合金は現在各種産業分野、更には医療分野に至るまで幅広く実用化されている¹⁾。しかしそれらはすべて線材、あるいは薄板材としてのみの利用に限られている。その理由として、TiNi 形状記憶合金特有の重力偏析や難加工性という問題があるためである。

そこで本研究は、重力偏析のおこらない均質なインゴット作製の為に燃焼合成法²⁾⁻⁵⁾を、形状の制限を解決し任意形状の製品作製の為に精密鑄造法を用いた試験片を作製し、この新しい方法により作製された TiNi 形状記憶合金の機械的性質を実験的に解明することを目的とする。この製法は製品に対して強加工が加えられないため、実用化を考える際にその機械的性質を調べることは非常に重要であると考えられる。またこの製法によって形状記憶合金の特性もこれまでの2次元から3次元へと広げることが出来るため、形状記憶合金の応用範囲を飛躍的に拡大できる可能性があると考えられる。

本稿ではこの新しい材料に対して引張試験を行い、その変形挙動を観察し、それについて考察する。

2. 実験方法

2.1 試験片

試験片は形状を JIS 規格に沿って決定し、燃焼合成法で作製したインゴットを精密鑄造して作製した。その形状を Fig.1 に示す。この材料の組成は Ti - 50.4at%Ni であり、形状記憶熱処理は 480°C で 40 分保持した後急冷して行った。

DSC (示差走査熱量計) によって測定したこの材料の各変態温度は $R_s = 20^\circ\text{C}$, $R_f = 2^\circ\text{C}$, $M_s = -35^\circ\text{C}$, $M_f = -67^\circ\text{C}$, $A_s = 8^\circ\text{C}$, $A_f = 34^\circ\text{C}$ である。ここで R_s , M_s , A_s はそれぞれ、R 相、マルテンサイト相、オーステナイト相変態開始温度であり、 R_f , M_f , A_f はそれぞれ、R 相、マルテンサイト相、オーステナイト相変態終了温度である。よってこの試験片は 34°C 以上の温度では超弾性挙動を示し、-67°C 以下において結晶はすべてマルテンサイト相となる。

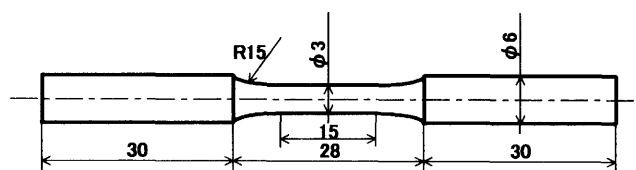


Fig.1 Geometry of Specimen (mm)

2.2 実験方法

引張試験は島津製作所製複合負荷試験機オートグラフ AG-G を用い、ひずみの測定には共和電業製一般ひずみゲージ KFG 型を標点間に 2 枚貼り、その平均を軸ひずみとした。また試験片温度制御にはオーム電機製ペルチェ冷却装置を用い各種温度下での試験を行った。

3. 実験結果及び考察

本研究では新たに作製した試験片に対し、-30°C から 50°C までの条件下で単軸引張試験を行った。その結果を Fig.2 に示す。実験方法は、まず DSC 結果よりマルテンサイト変態が終了していると思われる温度 (-70°C) まで一旦冷却し、試験片をマルテンサイト相状態にした後に試験機に取り付け、ペルチェ冷却装置にて各種温度に保持して最大ひずみ $\epsilon = 2\%$ まで速度一定の負荷を与えたのち除荷し、無負荷の状態になるまで戻した。

Fig.2 に示した応力-ひずみ曲線から (a) -30°C ~ (e) 10°C の温度範囲では、負荷によって生じたひずみは除荷操作のみでは完全には回復せず残留している。この残留ひずみは試験片を A_f 点以上まで加熱することで完全に回復したため (図中矢印)、実用上十分な形状記憶特性を有していることが確認できる。また (f) 20°C では除荷過程において A_f 点以下ではあるが応力誘起マルテンサイト逆変態により超弾性が起こっている。しかし温度的に R 相逆変態は終了していないと考えられ、生じた R 相のひずみは加熱により回復したと考えられる (図中矢印)。 (g) 30°C ~ (i) 50°C の温度範囲では、負荷によって生じたひずみは除荷操作のみで完全に回復しており、こちらも実用上十分な超弾性特性を有しているといえる。この両特性発現の結果は DSC 測定による結果とほぼ一致している。また試験温度の上昇とともにマルテンサイト変態開始応力も上昇しており、弾性係数も低温相 (マルテンサイト相) の値から高温相 (オーステナイト相) の値へと変化していることから、従来の製法によって作製された材料と同じ傾向を示していることが分かる^{1),6)}。

Fig.3 には実験によって得られた変態応力と温度の関係を示す。 σ_M はマルテンサイト変態開始応力、 σ_A はオーステナイト変態開始応力、 $\sigma_{A'}$ はオーステナイト変態終了応力を表しており、グラフ中の直線は近似直線を示している。マルテンサイト変態開始応力は温度上昇とともにほぼ比例的に増加していることが確認できその傾きは温度が 1°C 上昇するごとに約 4.8MPa 上昇することが確認された。また

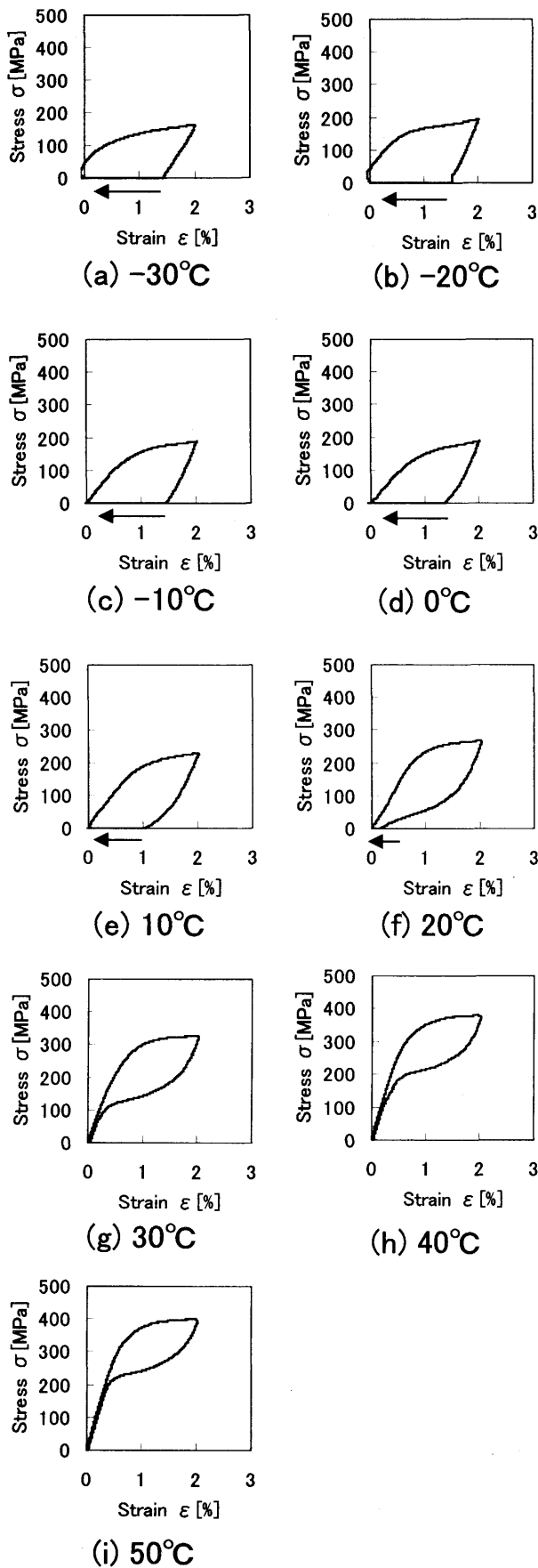


Fig.2 Stress-Strain curve in tensile test under various temperatures

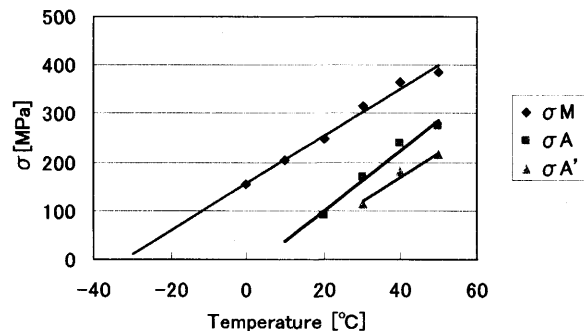


Fig.3 Relationship between stress and temperature

近似直線が温度軸と交わる点（応力が0の状態）の温度がDSC測定によって得られた変態温度($M_s = -35^\circ\text{C}$)とほぼ一致することから、従来の材料と同じ傾向を示しているといえる。オーステナイト変態開始応力と温度の関係、オーステナイト変態終了温度と温度の関係に対してもマルテンサイト変態開始応力と同様に比例関係を示しており、その傾きからそれぞれ温度 1°C ごとに 6.3MPa , 5.0MPa 上昇することが確認でき、従来の製法による材料の結果と同じ傾向を示すことが確認された⁷⁾。

4. 結言

今回の結果より新たに燃焼合成法と精密鑄造法により作製された TiNi 形状記憶合金の機械的性質の一端を明らかにすることができた。各温度域での応力-ひずみ曲線より実用上十分な形状記憶特性を有することが確認できた。また超弾性特性についても残留ひずみもほとんど生じることなく形状回復しているため実用上十分な特性を有しているといえる。この結果より、この新材料は強加工が加えられていないが良好な形状記憶特性、超弾性特性を発現することが明らかとなった。

今後さらに研究を進めることによりこの材料の特性を解明することで、実用化に向けての一助となると考える。

5. 文献

- 1) 田中喜久昭, 戸伏壽昭, 宮崎修一: 形状記憶合金の機械的性質, 養賢堂, (1993), 3-5,56
- 2) Y.Kaieda, M.Otaguchi, N.Oguro, T.Oie, S.Shite and M.Hatakeyama: MRS Inat1, Mtg. On Adv. Mats, Vol.9, (1989), 623-628
- 3) Y.Kaieda, M.Otaguchi, N.Oguro, T.Oie, and T.Hirayama: Bulletin of the Japan Institute of Metals. 30, (1991), 554-556
- 4) Y.Kaieda: Advanced Synthesis and Processing of Composites and Advanced Ceramics, (1995), Vol.1, 56, 27-38
- 5) Y.Kaieda: MATERIA Japan, 35, 6, (1996), 613-615
- 6) 橋本健吾: 複合負荷条件下における TiNi 形状記憶合金の変形特性に関する実験的研究, (2002), 37-38
- 7) 舟久保熙康: 形状記憶合金, 産業図書, (1986), 38