

217 鋳造 TiNi 形状記憶合金の力学特性に与えるショットピーニングの影響

Influence of shot peening to mechanical properties of TiNi shape memory alloy

○学 浅井孝宜 (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)

吉見幸春 (株 吉見製作所) 渡邊吉弘 (東洋精鋼) 服部兼久 (東洋精鋼)

Takanobu ASAI, Masataka TOKUDA, Tadashi INABA, Department of Mechanical Engineering, Mie University, Kurimamachiya1577, Tsu, 514-8507, Japan

Kazuhiro KITAMURA, Department of Mechanical Engineering, Nagano National College of Technology
Yukiharu YOSHIMI, Yoshimi Corporation

Yoshihiro WATANABE, Kanehisa HATTORI, Toyo Seiko CO., LTD

In order to make the TiNi shape memory alloy (SMA) with arbitrary shape contour, the lost wax fine casting and self-propagating high-temperature synthesis (SHS) method can be applied. However, the SMA produced by these methods don't carry out some process. Thus the shot peening process is applied to improve the mechanical properties of SMA instead of cold roll process. In this study, we investigated the effect of the shot peening process for the improvement of the properties of SMA.

Key Words: Lost wax fine casting, Self-propagating high-temperature synthesis, Shot peening, Shape memory alloy

1. 諸言

知的材料と呼ばれる材料の中に TiNi 形状記憶合金がある。この合金は耐食性、耐摩耗性、生体適合性などにおいて優れており、各種産業分野において応用が期待されている⁽¹⁾。しかし、難加工性材料であるために線材、または薄板材としての利用のみに限られて使用され、実際にその普及は遅れている。この問題を解決する一つの方法として、鋳造法が挙げられる。鋳造により最終製品形状を作製することで、任意形状に成型でき、その特性利用も拡大することができるため、応用範囲を飛躍的に上げられると考えられる。しかしながら、鋳造法では、これまでの製造過程にあった圧延等のような強加工を加えることができない。そのため、従来法と同様の性能を持つように力学的特性を改善させる手法を確立することは重要だと考えられる。

本研究では、燃焼合成法⁽²⁾により作製された TiNi 合金インゴットから精密鋳造法により成型した試験片を用い、この材料の力学的特性を調査した。その後、強加工の代わりとして、試験片に冷間加工の一種であるショットピーニングを施し、加工による力学的特性改善に対する効果について検討した。

2. ショットピーニング

ショットピーニングとは、微小な金属粒を高速度で金属表面に衝突させることにより材料表面に加工硬化層を形成させ、疲労強度、耐摩耗性などを向上させる冷間加工の手法である⁽³⁾。材料依存性が少ないため、自動車部品から航空機関係、化学プラントの圧力容器など様々なところに利用されている。本研究では、ショットピーニングが鋳造 TiNi 合金の力学的特性改善に対しても有効であるかについて考察する。

3. 実験方法

3.1 試験片

試験片は、燃焼合成法により作製したインゴットを精密鋳造して成型した。その材料の組成は Ti-50.8at%Ni である。また、この試験片の形状は 4×60×1 [mm] の薄板材である。ショットピーニングの加工条件は、投射材に軸受け鋼を使用し、粒径 0.8mm にて、投射時間を 8 秒、160 秒の 2 種類の条件で超音波ショットピーニング⁽⁴⁾を行った。形状記憶

熱処理は、480°C-40min とし、その後水中急冷した。

この材料を DSC (示差走査熱量計) において測定した各変態温度は $R_s = 3^\circ\text{C}$, $R_f = -9^\circ\text{C}$, $M_s = -27^\circ\text{C}$, $M_f = -54^\circ\text{C}$, $A_s = 2^\circ\text{C}$, $A_f = 26^\circ\text{C}$ 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。それゆえ、この試験片は 26°C 以上で超弾性特性を示す。

3.2 実験装置および実験方法

残留応力の測定には、X線回折による残留応力測定器を用いた。また、引張試験には、島津製作所製複合負荷試験機オートグラフ AG-G20KN を用い、共和電業製一般ひずみゲージを使用してひずみの測定を行った。本研究では、クロスヘッド 0.1mm/min の速度一定において最大ひずみ 2% までの引張負荷を与えた後、無負荷の状態まで除荷する単軸引張試験、及び 2% から破断に達するまでの繰返し単軸引張試験を行った。また、すべての試験において試験環境温度は室温とした。

4. 実験結果および考察

Fig. 1 に表面からの距離と材料表面で形成された残留応力の分布状態を示す。(I) はショットピーニング加工のない未処理材、(II) は投射時間 8 秒のショット材、(III) は投射時間 160 秒のショット材である。この結果より、(I) に対して (II)、(III) ではショットピーニングを施したことにより、表面層が圧縮されていることが分かる。これは、残留応力場が材料表面層に形成されたためと考える。また、(II) と (III) を比較すると (II) で残留応力が約 200MPa であったのに対し、(III) は約 300MPa の残留応力が付与されている。投射時間を長くしたことによって、材料表面及び内部に多くの残留応力が形成された結果と考えられる。

(I) の未処理材でもわずかに残留応力が存在しているが、これは形状記憶熱処理をした際の急冷時にできたものだと考えられる。

Fig. 2 に引張試験より得られた応力-ひずみ線図を示す。同様に、(I) は未処理材、(II) は 8 秒のショット材、(III) は 160 秒のショット材である。この結果より、鋳造法によ

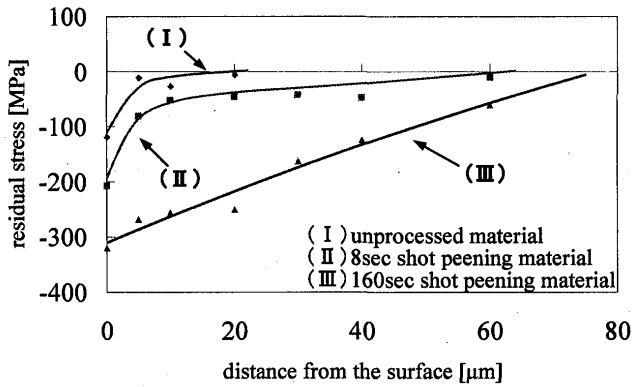


Fig.1 residual stress distribution

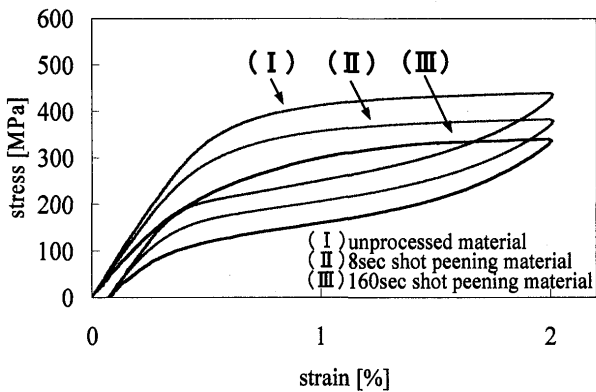
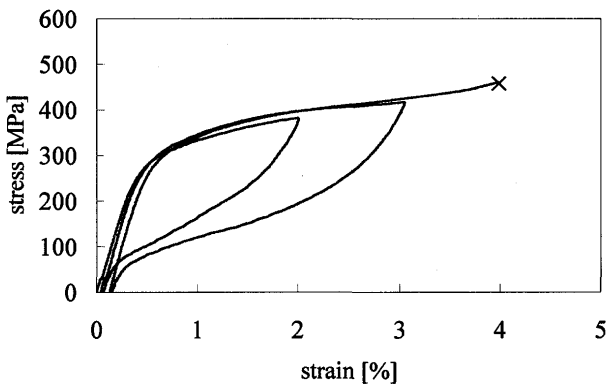
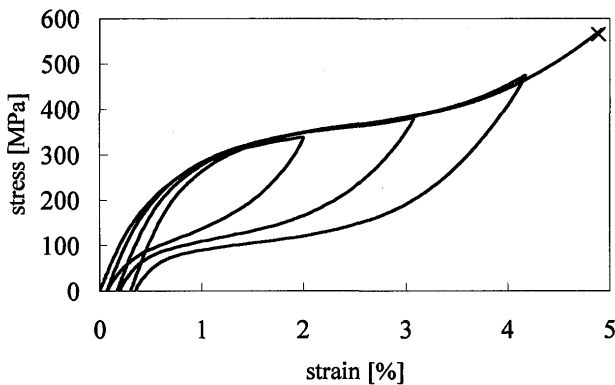


Fig.2 Stress-Strain curve in tensile test by several shot peening conditions



(a) unprocessed material



(b) 160sec shot peening material

Fig.3 repetition characteristic to break by tensile test

り作製されたTiNi合金において、若干の残留ひずみが生じるものの良好な超弾性特性を示すことが確認された。また、ショットピーニングを施した両試験片は、未処理材よりも同じひずみ量に対する応力誘起マルテンサイト変態および逆変態における応力値が (II) については約 50MPa, (III) については約 100MPa低くなっていることが分かる。この結果から、ショットピーニングによって材料内部に付与された残留応力が変態を助けたと考えられる。しかしながら、全ての試験片における残留ひずみ量がほぼ同程度であり、この残留ひずみは加熱によっても回復しなかったことから、今回のショットピーニングの条件では、すべり変形の抑制に対する加工の効果は少なかったと考えられる。

Fig. 3 に 2% から破断に至るまでの繰返し行なった単軸引張試験の応力-ひずみ線図を示す。(a) は未処理材, (b) は 160 秒のショット材である。8 秒のショット材に比べ、160 秒のショット材はショットピーニングの効果が大きかったため、この 2 種類の試験片についての比較を行った。Fig.2 の結果と同様に若干の残留ひずみが両試験片に生じているものの良好な超弾性特性を示している。また、(a) に比べ (b) は破断した点において応力で約 100MPa, ひずみで約 1% 上昇していることが分かる。これは、ショットピーニングが材料表面の微細な凹凸を滑らかにしたのと同時に、表面が圧縮されたことにより何らかの組織改善が行われたと考えられる。一般に、破断時において材料表面から破断に至るため、表面層の組織を改善させることは重要である。

今回の実験結果から、ショットピーニングの効果によって全体的な応力の値を低下させることができると分かった。また、破断時の応力を向上させることにおいても効果があるという結果を得ることができた。ここで、従来法による TiNi 形状記憶合金の破断強度が 1000MPa 以上であることから、破断強度の向上を目指し、今後、ショットピーニングの条件についてさらに検討していきたい。

5. 結言

以上の結果から、鋳造法により作製された TiNi 形状記憶合金においても、低応力の範囲では良好な超弾性特性を示すことが分かった。また、本材料の力学的特性改善に対し、ショットピーニングが有効であることが示唆された。今後、種々のショットピーニングの条件を検討することで、鋳造 TiNi 形状記憶合金の力学的特性改善に対する効果についてさらに検討していきたい。

参考文献

- (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), 2-6.
- (2) Y.Kaieda, M.Otaguchi, N.Oguro, T.Oie, and T.Hirayama: Bulletin of the Japan Institute of Metals. 30, (1991), 554-556.
- (3) 宮崎修一, 佐久間俊雄, 渋谷壽一: 形状記憶合金の特性と応用展開, CMC, (2001), 47-53.
- (4) <http://www.toyoseiko.co.jp/pdf/usp.pdf>