

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5521162号  
(P5521162)

(45) 発行日 平成26年6月11日(2014.6.11)

(24) 登録日 平成26年4月18日(2014.4.18)

(51) Int.Cl. F I  
 GO 1 N 3/08 (2006.01) GO 1 N 3/08  
 GO 1 N 33/20 (2006.01) GO 1 N 33/20 Z

請求項の数 1 (全 7 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-244919 (P2010-244919)                  (22) 出願日 平成22年11月1日(2010.11.1)                  (65) 公開番号 特開2012-98104 (P2012-98104A)                  (43) 公開日 平成24年5月24日(2012.5.24)                  審査請求日 平成25年7月3日(2013.7.3)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成22年6月30日 日本MRS発行の「Transactions of the Materials Research Society of Japan Vol. 35 no. 2 June 2010」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 304028726                  国立大学法人 大分大学                  大分県大分市大字旦野原700番地</p> <p>(72) 発明者 佐久間 俊雄                  大分市大字旦野原700番地 国立大学法人大分大学工学部内</p> <p>(72) 発明者 山本 隆栄                  大分市大字旦野原700番地 国立大学法人大分大学工学部内</p> <p>(72) 発明者 長 弘基                  大分市大字旦野原700番地 国立大学法人大分大学工学部内</p> <p>(72) 発明者 鈴木章彦                  埼玉県草加市中根2丁目22番21号</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 多結晶形状記憶合金のアコモデーション挙動を考慮した相変態挙動測定方法。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

多結晶形状記憶合金を結晶方位の異なる結晶粒の並列結合により示し、各結晶粒をさらに部分要素に分割し、部分要素の変態ひずみの平均を結晶粒の変態ひずみとし、各々の結晶粒はさらに変態抵抗の異なる部分要素の直列結合で示し、当該部分要素にひずみと温度が与えられた時、その変態面における分解せん断応力を求めこれの限界値と当該部分要素の体積率とにより結晶粒の平均変態ひずみを求め、その都度、前記平均変態ひずみの収束を繰り返し行って応力と温度の負荷履歴に対応するひずみ履歴を計算することを特徴とする多結晶形状記憶合金のアコモデーション挙動を考慮した相変態挙動測定方法

10

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

20

**【0001】**

本発明は、多結晶形状記憶合金のアコモデーション挙動を考慮した相変態挙動測定方法に関するものである。

**【背景技術】****【0002】**

形状記憶合金の相変態挙動を精密に予測するためには相変態挙動がアコモデーション機構のもとで生じることを正確に把握する必要がある。形状記憶合金の相変態を伴う応力・ひずみ挙動を予測する技術は下記非特許文献1のようにいくつか提案されているが、そのいずれもが相変態におけるアコモデーション挙動を正確に記述したものでなく、予測技術としては不完全なものである。

30

**【先行技術文献】****【非特許文献】****【0003】**

【非特許文献1】徳田ら，日本機械学会論文集，A，98 1000 (1999)，491-497．Panico, M., Brinson L. C., J Mechanics and Physics of Solids, 55 (2007), 2491-2511.

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

多結晶形状記憶合金は、結晶方位の異なる単結晶合金の集合体であり、それぞれの結晶粒は24通りの変態方位をもっている。例えばある結晶のある変態方位において変態が生じた

40

とすると、生じた変態ひずみによって、その変態方位の変態に抵抗するような内部応力が形成され、次の変態は別の結晶粒の別の方位において生じる。このようなメカニズムが次々と働き、変態過程における多結晶中の内部応力を最小にする。

このメカニズムによる変態ひずみ生成過程をアコモデーションと呼び、アコモデーションを生じさせるメカニズムをアコモデーション機構と呼ぶ。このメカニズムのもとで生じる

変態ひずみの挙動を正確に予測する必要がある。

本発明は、このアコモデーション機構のメカニズムのもとで生じる変態ひずみの挙動、すなわち、変態ひずみのアコモデーション挙動を精密に計算すると共に、形状記憶合金の実機への応用を可能にした技術であり、応力と温度を与えた時に直接的に対応してアウトプットとしてのひずみを測定する多結晶形状記憶合金の相変態歪測定方法を提供するもので

50

ある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の特徴とする技術条件は次の通りである。

多結晶形状記憶合金を結晶方位の異なる結晶粒の並列結合により示し、各結晶粒をさらに部分要素に分割し、部分要素の変態ひずみの平均を結晶粒の変態ひずみとし、各々の結晶粒はさらに変態抵抗の異なる部分要素の直列結合で示し、当該部分要素にひずみと温度が与えられた時、その変態面における分解せん断応力を求めこれの限界値と当該部分要素の体積率とにより結晶粒の平均変態ひずみを求め、その都度、前記平均変態ひずみの収束を繰り返し行って応力と温度の負荷履歴に対応するひずみ履歴を計算することを特徴とする多結晶形状記憶合金のアコモデーション挙動を考慮した相変態挙動測定方法。

10

【発明の効果】

【0006】

多結晶形状記憶合金に温度増分および応力増分が与えられた時、当該形状記憶合金の変態条件を満足する変態面の変態ひずみを計算し、主に数3を用いてひずみを計算する。求められたひずみによって内部応力状態が変化し、変態ひずみの計算に影響を与えるが、変態ひずみが変化しなくなるまで計算を繰り返し、そのステップの計算を終了する。次の温度増分および応力増分に対しても以上の計算を繰り返すことによって、与えられた応力および温度履歴に対するひずみを精度良く測定することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】アコモデーション挙動を発現する材料のモデル図である。材料は結晶方位の異なる多数の結晶粒の並列結合で表される。さらに結晶粒は複数の部分要素に分けられ、部分要素は結晶粒の中で直列結合をする。

【図2】形状記憶合金の形状記憶効果の計算例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明を実施するための形態について説明する。

材料を結晶方位の異なる結晶粒の並列結合で表し、結晶粒を変態限界応力の異なる部分要素の直列結合で表した材料モデルを用いて、変態ひずみのアコモデーション挙動を測定する概要は次の通りである。

30

(1)、多結晶形状記憶合金に応力と温度が与えられた時のひずみ測定は、後述の数4を用いて計算する。

(2)、数4を用いるひずみの計算において、変態ひずみはひずみの関数であるので、一回の計算において、計算の前後で変態ひずみの値が食い違うため、繰り返し計算によって、変態ひずみの値を収束させ、これを解消することを可能にする。

(3)、負荷増分ごとに上記の収束計算を行うことにより、負荷の全過程でひずみを計算することを可能にする。

(4)、変態ひずみのアコモデーション挙動の計算において、応力と温度が与えられた時、簡易の数5を用いてひずみ計算を行う。

40

(5)、変態ひずみのアコモデーション挙動を計算において、数6を用いて、形状記憶効果の計算を行う。

これ等の測定概要について更に詳細に説明する

アコモデーション挙動を記述する多結晶形状記憶合金の材料モデルを模式的に図1に示す。材料は、結晶方位の異なる結晶粒の並列結合として表現され、各々の結晶粒はさらに変態抵抗の異なる部分要素の直列結合で表される。この材料モデルにおいては、結晶粒のひずみは外部ひずみに等しく、部分要素の応力は結晶粒の応力と等しくなる。部分要素の変態面における分解せん断応力が限界値に達した時に変態固有ひずみを生じるとし、それと部分要素の体積率を懸け合わせ、合計することで結晶粒の平均変態ひずみを計算する。結

50

晶粒に与えられたひずみからそれを差し引くことで、弾性ひずみを求め、弾性定数を懸けることで、各結晶粒の応力を計算する。材料の応力は各結晶粒の応力と体積率を掛け合わせ合計を取ることによって平均値を求めることによって得られる。このようにして外部ひずみに対するアウトプットとしての応力値が求められることとなる。この計算の過程の中で、変態ひずみが生じた要素の応力が軽減されることにより、変態が各方位に関し平均化されるメカニズムが記述されており、アコモデーション挙動が記述されている。

図1を参考として、このモデルにおける応力とひずみの関係を定式化すると以下のようになる。ただし、材料を構成する結晶粒として、M個の結晶方位の異なる結晶粒があるとし、各結晶粒をN個の部分要素に分けるものとする。

【0009】

【数1】

$$\sigma_{kl} = \left( \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \right) \varepsilon_{ij} - \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \varepsilon_{ij,m}^{tr}$$

【0010】

【数2】

$$\varepsilon_{ij,m}^{tr}$$

【0011】

【数3】

$$\bar{C}_{ijkl,m}$$

【0012】

ここで、 $\sigma_{kl}$ ：応力テンソル、 $\varepsilon_{ij}$ ：ひずみテンソル、 $F_m$ ：m番目の結晶粒の体積率、数2：m番目の結晶粒の変態ひずみテンソル、数3：m番目の結晶粒の平均弾性係数テンソルである。

数3の平均弾性係数テンソルは、m番目の結晶粒の部分要素nの弾性係数テンソル $C_{ijkl,mn}$ とその体積率 $f_{mn}$ を用いて数4のように定義される。

【0013】

【数4】

$$\bar{C}_{ijkl,m} = \sum_{n=1}^N f_{mn} C_{ijkl,mn}$$

【0014】

前記数1には温度の項が陽には現れていないが、右辺の変態ひずみ（：数3）を計算する際、そのしきい値が温度の関数となるので、数1は温度とひずみが与えられた時の応力計算式となっている。

数1式を変形すると次の数5が得られる。

【0015】

【数5】

$$\varepsilon_{ij} = \left( \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \right)^{-1} \sigma_{kl} + \left( \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \right)^{-1} \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \varepsilon_{ij,m}^{tr}$$

【0016】

この数5の右辺に現れる変態ひずみ（：数3）を計算する際、そのしきい値が温度の関数となるので、数5は応力と温度が与えられた時のひずみを計算する式である。相変態挙動がアコモデーション機構のもとで生じることを取り入れた計算を行うにあたり、この数5を用いることにより、これまで適用不可能であった応力と温度制御条件における形状記憶合金の変態挙動を計算することが可能になる。

10

20

30

40

50

多くの場合、数 5 は次の数 6 ように近似することができる。

【 0 0 1 7 】

【数 6】

$$\varepsilon_{ij} = \left( \sum_{m=1}^M F_m \bar{C}_{ijkl,m} \right)^{-1} \sigma_{kl} + \sum_{m=1}^M F_m \varepsilon_{ij,m}^{tr}$$

10

【 0 0 1 8 】

形状記憶効果を計算する場合は応力が零であるので、数 6 を変形した数 7 が用いられる。

【 0 0 1 9 】

【数 7】

$$\varepsilon_{ij} = \sum_{m=1}^M F_m \varepsilon_{ij,m}^{tr}$$

【 0 0 2 0 】

上記計算の具体例として、形状記憶合金の形状記憶効果の計算例を図 2 に示す。

20

図 2 は、形状記憶合金の形状記憶効果の計算例である。

材料は最初に低温状態（Mf 点以下の温度）にありマルテンサイト状態にある。この時の応力・ひずみ状態を図の原点 O で表す。この状態から形状記憶合金に単軸引張り応力を掛けると、応力の増加に伴いマルテンサイト変態の再配列が生じ、曲線状の応力・ひずみ線図が得られる。あるひずみ点（点 A）において負荷をやめ、ついで除荷することにより、点 B で表される応力・ひずみ状態に弾性変形により移行する。この時材料はマルテンサイト状態にあり、残留ひずみが生じている。ついで温度を上昇させるとオーステナイト逆変態が次第に生じ、Af 点以上の温度にまで達すると、材料は完全にオーステナイト状態になり、残留ひずみは消失し、応力・ひずみの原点 O に復帰する。温度を上げることにより、変形が元に戻る現象を形状記憶といい、ここで示した発明の計算法により、形状記憶合金の形状記憶効果が計算できることが分かる。

30

【産業上の利用可能性】

【 0 0 2 1 】

本発明はこの形状記憶合金の相変態を伴う応力・ひずみ挙動を正確に予測するため、当該相変態挙動をアコモデーション機構のもとで生じることを取り入れた測定方法で実現し、さらに応力とひずみを与えた際、アウトプットとしてひずみを精度よく算出するもので、これにより形状記憶合金の実機への応用を実現させたものである。

即ち、本発明の測定方法により、形状記憶合金の超弾性挙動の応力・ひずみ関係を計算すると、応力誘起によるマルテンサイト変態開始応力（ひずみ）とその変態終了応力（ひずみ）、及び除荷過程におけるマルテンサイト相からオーステナイト相に逆変態開始応力（ひずみ）とその逆変態終了応力（ひずみ）を明瞭にすることを可能ならしめたものであり、従来の変態及び逆変態の開始・終了応力（ひずみ）の考え方を一新するものである。しかも実験的に変態および逆変態の開始および終了を正確に求めることは不可能であり、学術的に意義の大きなものである。

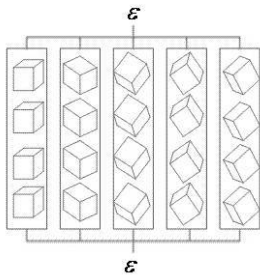
40

更に、本発明は、形状記憶合金の実機への応用を実現させたものであり産業的に貢献すること多量なものがある。

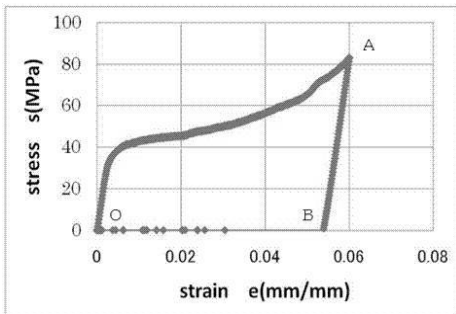
【 0 0 2 2 】

50

【 図 1 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

審査官 阿部 知

- (56)参考文献 特開2009-264797(JP,A)  
特開2009-264750(JP,A)  
特開2012-098064(JP,A)  
鈴木 章彦, 変態ひずみアコモデーションモデルによる変態応力曲面, 年次大会講演論文集 : JSME annual meeting, 2009年 9月12日, 2009(1), 179-180  
長 弘基, 変態ひずみアコモデーションモデルによる形状記憶効果のシミュレーション, M&M材料力学カンファレンス, 2010年10月 9日, 520-521

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 3/00 - 3/62

G01N 33/00 - 33/46