

Stress-Induced Martensitic Transformation of Boundary gamma-Fe Particles in Cu

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-11-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Monzen, Ryoichi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00052642

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



KAKEN
1996
61

銅粒界上 γ -Fe 粒子の応力誘起
マルテンサイト変態

(研究課題番号 : 07650762)

平成 8 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C)(2))

研究成果報告書

平成 9 年 3 月

研究代表者 門 前 亮 一

(金沢大学工学部 助教授)

EN
16

銅粒界上 γ -Fe粒子の応力誘起マルテンサイト変態

(研究課題番号 07650762)

平成8年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書

平成9年3月

研究代表者 門前亮一
(金沢大学 工学部 助教授)



8000-55261-2

金沢大学附属図書館

研究成果目次

はしがき	1
研究成果	4
1. Cu粒界 γ -Fe粒子の粒界すべりに基づく応力誘起マルテンサイト変態	4
資料	6
2. Cu粒界上のFe微粒子のマルテンサイト変態におよぼす外力効果	2 5
資料	2 7

はしがき

外力を加えたり、あるいは1つのマルテンサイトの生成に伴う内部応力等により、マルテンサイト変態が促進されることは良く知られている。外力効果については、直接的には変態開始温度 (M_s 点) の上昇という形で現れるが、単純冷却によって生じたマルテンサイトと外部応力によって誘起されたマルテンサイトとは、微視的、結晶学的に見ても異なっている。例えば、単純冷却によっては、結晶学的に等価なマルテンサイトのバリエーションの間に発生に対する優先性はないが、応力誘起マルテンサイトの場合は、付加応力の方向や向きに依存して、特定のバリエーションが優先的に発生する。また、変態の難易も外力の向きや方向に依存することが認められている。

Fe合金のfcc (γ) \rightarrow bcc (α)変態に話を限っても、このような研究は数多くなされている。しかし、応力効果について次の2点がまだ十分に明らかになっていないと考えられる。(1) $\gamma\rightarrow\alpha$ 変態は応力によって誘起されるのかどうか。多くの場合、外部応力の下で塑性変形とマルテンサイト変態が同時に生ずる条件下で行なわれているため、塑性変形の間接的な効果を抜きにして、応力効果を明確に論ずることは困難である。時折、変形あるいは歪誘起変態という用語が使われたりする。(2) もし応力が真に変態を誘起するならば、それはどのように誘起するのであろうか。応力は現象論で議論されたような全形状変形を助けるのか、あるいは格子形を変えるせん断変形を助けるのかどうかである。

Cu-Fe合金中のFe粒子のfccからbccへのマルテンサイト変態を調査することによって、これらの問題点を明らかにすることが本研究の目的である。ここでは、Cu-Fe合金の時効によって析出した粒内の整合 γ -Fe粒子ではなく、小角粒界上の大きな整合 γ -Fe粒子を用いる。その理由は後に明らかにされるであろう。

平成9年3月

研究代表者 門前 亮一

研究組織

研究代表者：門前 亮一（金沢大学工学部 助教授）

研究経費

平成7年度	1, 900千円
平成8年度	200千円
計	2, 100千円

研究発表

（1）学会誌等

- 1) R. Monzen and T. Mori, Internal-stress-induced martensitic transformation of boundary γ -Fe particles caused by boundary sliding in Cu, *Acta Metallurgica et Materialia*, **43**, 4, 1451-1455, 1995.
- 2) R. Monzen and T. Mori, Stress induced martensitic transformation of iron particles in copper, *Proceedings of C. M. Wayman International Conference on Displacive Phase Transformations and their Applications in Materials Engineering*, 1997, in press.
- 3) R. Monzen and M. Mori, Stress-induced martensitic transformation of boundary γ -Fe particles in a Cu-Fe alloy, *Philosophical Magazine Letters*, **75**, 1997, in press.
- 4) R. Monzen and T. Suzuki, Nanometre-scale grain-boundary sliding in copper bicrystals with [001] twist boundaries, *Philosophical Magazine Letters*, **74**, 1, 9-15, 1996.

（2）口頭発表

- 1) 門前亮一, Cu粒界 γ -Fe粒子の粒界すべりに基づく応力誘発マルテンサイト変態, 日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会, 富山, 平成7年10月6日.

- 2) 門前亮一, Cu-Fe合金中の粒界 γ -Fe粒子の応力誘起マルテンサイト変態, 日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会, 金沢, 平成8年11月22日.
- 3) 門前亮一, 銅粒界上の鉄粒子のマルテンサイト変態におよぼす外力効果, 日本金属学会秋期(第121回)大会, 仙台, 平成9年9月発表予定.

研究成果

1. Cu粒界 γ -Fe粒子の粒界すべりに基づく応力誘起マルテンサイト変態

マルテンサイト変態におよぼす応力効果については、Fe合金の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態に話を限ってもこれまで数多くの研究がなされている⁽¹⁾⁻⁽⁹⁾。しかし、これらの研究の多くは、外部応力のもとで塑性変形とマルテンサイト変態が同時に生ずる条件下で行なわれている。さらに、マルテンサイトのバースト形成がしばしば生ずる。このような場合、マルテンサイト変態は他のマルテンサイト形成に起因する内部応力や、塑性変形により作られる応力場や欠陥の周辺の特定の原子配列により誘起されるであろう。したがって、形成されるマルテンサイトバリエーションは必ずしも外力に直接的に助けられたものとは限らない。一方、内部応力の効果という立場から見ても、付加応力の寄与が同時に入ってくるため、内部応力の効果のみを取り出して議論することは難しい。

Feを1-4mass%含むCu-Fe合金を時効すると、準安定なfcc構造の球状 γ -Fe粒子が析出する。粒子直径が約80nmより小さいとき、Cu母相と整合である。母相中の準安定なこれら整合 γ -Fe粒子は液体ヘリウム温度まで冷却してもマルテンサイト変態せず、塑性変形のみによって α マルテンサイトへと変態する⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾⁻⁽¹⁴⁾。形成された α -Fe粒子は双晶構造を持ち、それぞれのバリエーションとCu母相との間にKurdjumov-Sachs (KS)の方位関係が成立する。すべり転位の内部応力がそのマルテンサイト変態に対するきっかけを与えるものと示唆されている。

一方、時効によって通常の大角粒界には α -Fe粒子が形成されるが、約 10° 以下の方位差をもつ小角粒界にも隣接結晶粒の1つの母相と整合な γ -Fe粒子が析出する⁽¹⁵⁾。本研究では、粒界すべりによって作られた内部応力により、粒界上の整合 γ -Fe粒子のマルテンサイト変態が誘起されることを示すとともに、内部応力の下で形成されたマルテンサイトの方位を調査した。変態への塑性歪の可能な効果を取り除くため、粒界すべりを導入するために与えた応力は、時効された双結晶の巨視的降伏応力より小さいものを選んだ。主要な考え方は以下のようなものである。

粒界内部摩擦から明らかのように、粒界はせん断応力の下で、例えばCuでは、約500Kの比較的低温ですべることができる。長距離の拡散性が十分に低いこれらの低温では、粒界上に存在している第2相粒子によって粒界すべりは阻止される。その結果、内部応力が発生し、粒子の存在しない粒界上で外部せん断応力とこの内部応力が打ち消しあったときすべりが止まる。もちろん内部応力は粒子にも作用し、粒子を弾性的に歪ませる。著者は独自のテクニックを使って、Cu双結晶中の粒界上 α -Fe-Co粒子によるすべりの阻止によって作られる弾性歪の存在、そして約 10° の方位差をもつCuの粒界が500K位の温度ですべることができることをすでに実証してある⁽¹⁶⁾⁻⁽²¹⁾。

得られた結果は、以下のようにまとめることができる。

(1) Cu-Fe合金双結晶中の小角粒界上の微小整合 γ -Fe析出粒子は、粒界すべりに起因

する内部応力の下で77Kまでの冷却中に α -Fe粒子へとマルテンサイト変態した。格子転位の活動は完全に抑制された。130nmより大きい粒子は変態し、中でも大きい粒子ほど変態しやすい傾向があった。この結果は、大きい粒子ほど核生成位置の数が多いということのみによってのみ説明することができた。

- (2) 粒界すべりに基づく内部応力によって、24種類のKSバリエーションのうち特定のものが優先的に形成された。この実験結果は、応力がマルテンサイト変態時の格子形を変える変形(Bain変形)に顕著な効果を及ぼすと考えれば、合理的に説明されるものであった。

この考え方については次章で述べる。

以下では具体的な研究成果を学会誌等の発表を通して示す。

参考文献

- (1) G. Stone and G. Thomas, *Metall. Trans.* **5**, 2095 (1974).
- (2) D. Goodchild, W. T. Roberts and D. V. Wilson, *Acta metall.* **18**, 1137 (1970).
- (3) G. F. Bolling and R. H. Richman, *Scripta metall.* **4**, 539 (1970).
- (4) A. J. Bogers, *Acta metall.* **10**, 260 (1962).
- (5) Y. Higo, F. Lecroisey and T. Mori, *Acta metall.* **22**, 313 (1974).
- (6) M. Kato and T. Mori, *Acta metall.* **24**, 853 (1976).
- (7) M. Kato and T. Mori, *Acta metall.* **25**, 951 (1977).
- (8) M. Kato, R. Monzen and T. Mori, *Acta metall.* **26**, 605 (1978).
- (9) A. Sato, M. Kato, Y. Sunaga, T. Miyazaki and T. Mori, *Acta metall.* **28**, 367 (1980).
- (10) K. E. Easterling and H. M. Miettinen, *Acta metall.* **15**, 1133 (1967).
- (11) K. E. Easterling and G. C. Weatherly, *Acta metall.* **17**, 845 (1969).
- (12) K. R. Kinsman, J. W. Sprys and R. J. Asaro, *Acta metall.* **23**, 1431 (1975).
- (13) H. Kubo, Y. Uchimoto and K. Shimizu, *Metal. Sci.* **9**, 61 (1975).
- (14) R. Monzen, A. Sato and T. Mori, *Trans. Jpn. Inst. Metals.* **22**, 65 (1981).
- (15) R. Monzen and K. Kitagawa, *Scripta metall.* **19**, 1261 (1985).
- (16) R. Monzen, K. Kitagawa and T. Mori, *Acta metall.* **37**, 1619 (1989).
- (17) R. Monzen, Y. Sumi, K. Kitagawa and T. Mori, *Acta metall.* **38**, 2553 (1990).
- (18) R. Monzen, M. Futakuchi, K. Kitagawa and T. Mori, *Acta metall. mater.* **41**, 1643 (1993).
- (19) R. Monzen and Y. Sumi, *Phil. Mag. A*, **70**, 805 (1994).
- (20) R. Monzen, M. Futakuchi and T. Suzuki, *Scripta metall. mater.* **32**, 1277 (1995).
- (21) R. Monzen and T. Suzuki, *Phil. Mag. Lett.* **74**, 9 (1996).

2. Cu粒界上のFe微粒子のマルテンサイト変態におよぼす外力効果

Fe合金の $\gamma \rightarrow \alpha$ マルテンサイト変態におよぼす外力効果については、多くの研究者によって主として単結晶を用いて調べられている。そして付加応力の方向や向きに依存して、特定のバリエーションが優先的に発生することが明らかになっている。しかし前章で述べたように、ほとんどの研究においては、外力の付加と同時に塑性変形が生じ、優先発生したバリエーションは必ずしも外力に直接的に助けられたものとは限らない。

これまで外力効果については主として2通りの考え方を通して理解されてきた。多くの研究者⁽¹⁾⁻⁽³⁾は、PatelとCohen⁽⁴⁾の考え方を支持している。この考え方は、外力はマルテンサイト変態に伴う全形状変形を助けると言うもので、板状マルテンサイト場合、全形状変形を晶癖面に平行なせん断成分と、垂直な膨張(収縮)成分にわけ、これらの変形成分が外力によって最も助けられるようなバリエーションが優先的に発生すると考える。一方、マルテンサイト変態時の初期段階である格子形を変える変形(格子変形、たとえば、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態の場合には、良く知られたBain変形)にこそ外力が最も大きな効果を持つという考え方もある⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾。

本研究は、マルテンサイト変態におよぼす外力効果に対する上記の2つの考え方の、どちらがより合理的であるかを検討することを目的としている。試料としては、前章と同様のCu-Fe合金双結晶を用いる。この合金を使用する理由は、粒内の塑性変形を完全に抑制して外力によって粒界上の整合 γ -Fe粒子のマルテンサイト変態を誘起させることができることと、変態の起こりえる場所がFe粒子と限定されているためである。前者については、粒内の整合 γ -Fe粒子がCu母相を強化すること、粒界粒子は粒内粒子より大きいこと変態しやすいことが実験を可能にしている。後者の利点は、Fe粒子の体積率が小さいので粒子同士の相互作用が無視できることにある。したがって、発生したマルテンサイトのバリエーションは直接外力効果を反映したものと言える。

以上のことを目的として次の結果を得た。

- (1) 転位の活動が完全に抑制された環境下で、77Kで外部応力(110MPa)を付加することによって $\gamma \rightarrow \alpha$ マルテンサイト変態が生じた。外部応力の方向([001]と[416])や向き(引張と圧縮)に応じて24種類のKSバリエーションのうち、優先発生するバリエーションは異なるものであった。この実験結果は、外力がマルテンサイト変態の初期段階の格子形を変える変形、即ち $\{111\}_\gamma \langle 211 \rangle_\gamma$ せん断系を助けると考えれば、合理的に説明されるものであった。
- (2) 整合 γ -Fe粒子内の内部応力(静水圧: 1500MPa)と全形状変形との相互作用エネルギーは、外部応力とそれとの相互作用エネルギーより約100倍大きな値であった。これより、大きな静水圧ではなくせん断応力が $\gamma \rightarrow \alpha$ マルテンサイト変態において重要であることが示唆された。

以下では具体的な研究成果を学会誌等の発表を通して示す。

参考文献

- (1) G. Stone and G. Thomas, *Metall. Trans.* **5**, 2095 (1974).
- (2) D. Goodchild, W. T. Roberts and D. V. Wilson, *Acta metall.* **18**, 1137 (1970).
- (3) G. F. Bolling and R. H. Richman, *Scripta metall.* **4**, 539 (1970).
- (4) J. R. Patel and M. Cohen, *Acta metall.* **1**, 531 (1953).
- (5) A. J. Bogers, *Acta metall.* **10**, 260 (1962).
- (6) Y. Higo, F. Lecroisey and T. Mori, *Acta metall.* **22**, 313 (1974).
- (7) M. Kato and T. Mori, *Acta metall.* **24**, 853 (1976).
- (8) M. Kato and T. Mori, *Acta metall.* **25**, 951 (1977).
- (9) M. Kato, R. Monzen and T. Mori, *Acta metall.* **26**, 605 (1978).
- (10) A. Sato, M. Kato, Y. Sunaga, T. Miyazaki and T. Mori, *Acta metall.* **28**, 367 (1980).