

## Fe-Ni合金のマルテンサイトの変態速度

著者	鈴木 雄一
号	448
発行年	1973
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9184">http://hdl.handle.net/10097/9184</a>

## 審査結果の要旨

純鉄は温度または圧力に応じて bcc 構造の  $\alpha$  相, fcc 構造の  $r$  相, ならびに hcp 構造の  $\epsilon$  相の 3 種類の結晶状態をとり, これら各相の安定性に対して合金元素がいかなる影響を与えるかを明確にすることは, 鉄鋼材料の組織学における重要な研究課題の一つである。本論文は  $\alpha$ ,  $r$  ならびに  $\epsilon$  各相の相対的な安定性に対する合金元素の影響を表わすパラメータを, Fe-Ni-X ならびに Fe-Mn-X 系合金における相変態についての熱力学的な解析によつて定量化し, さらに, 得られたパラメータの値にもとづいて未知の相平衡あるいは相変態に対する演繹的解析を試みた結果をまとめたもので全編 5 章よりなる。

第 1 章は緒論であり, 本研究の意義および目的について述べている。

第 2 章では  $\alpha/r$  両相間の相対的な安定性に対する各合金元素の影響を表わすパラメータの値を 11 種類の元素について決定した結果について述べている。従来この種の研究は, 異相平衡が完全に達成し得るような  $700^{\circ}\text{C}$  以上の温度においてのみ行われてきたが, 本研究では, Fe-Ni-X 系合金におけるマルテンサイト変態の解析によつてパラメータ値を決定する新しい方法を確立して,  $200\sim 500^{\circ}\text{C}$  における  $\alpha/r$  安定化パラメータを定量化している。その結果, このパラメータが鉄のキュリー温度近傍で異常に変化することを見出し, 従来は  $\alpha$  相を安定化すると考えられてきた Mo, W が低温では  $\alpha$  相よりもむしろ  $r$  相を安定化することなど, 合金学的に興味ある事項が明らかにされている。

第 3 章では  $r/\epsilon$  ならびに  $\alpha/\epsilon$  各相間の相対的な安定性に対する各合金元素の影響を表わすパラメータを定量化するために, Fe-Mn-X 系合金について上と同様の研究を行い, これらのパラメータが原子番号とともに周期的に変化することを見出し, とくに VI および VII 族元素の Mn, Cr, Mo, W が  $\alpha$  相よりも  $\epsilon$  相を安定化することなどを明確にしている。この結果は超高压下における  $\alpha \rightarrow \epsilon$  変態を解析する際にきわめて重要な資料となるものである。

第 4 章では上記の各安定化パラメータの値を用いて, 各種の鉄合金における相平衡ならびに相変態を熱力学的に解析した結果について述べている。まず, Fe-Mn-V, Fe-Mn-Mo ならびに Fe-Mn-Si 系における  $\alpha/r$  相間の平衡関係が異常な温度依存性を示すことを予測し, これを実験によつて検証している。ついで, Fe-Mn-V 系の bcc 合金が  $500^{\circ}\text{C}$  以下の温度で 2 相分離反応を行うことを予想し, 実験的にこれを確認している。さらに, 鉄合金における  $r \rightarrow \alpha$  型マルテンサイト変態の駆動力を計算し, その物理的意義を強度論的な立場から議論している。

第 5 章は総括である。

以上要するに本論文は, 鉄の結晶状態に対する合金元素の影響を独創的な方法によつて解明し, 鉄鋼材料の組織学的研究に貴重な知見を加えたもので金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よつて, 本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。

氏名(本籍)	鈴木雄一 (東京都)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第448号
学位授与年月日	昭和49年3月26日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)金属材料工学専攻
学位論文題目	Fe-Ni合金のマルテンサイトの変態速度
論文審査委員	(主査) 教授 斎藤 英夫      教授 須藤 教授 西沢 泰二      教授 本間 敏夫 助教授 角野 浩二

## 論文内容要旨

### 第1章 序論

マルテンサイト変態は金属学における最も重要な問題の一つであり古くから多くの研究が行なわれてきているが、その現象は依然として明らかになっていない。マルテンサイト変態の研究は古くは金属組織学的方法で行なわれた。その後、結晶学的な研究に移り、母相とマルテンサイト相との関係を、X線、あるいは電子線回折によって調べるのが一般的となった。また、変態理論の研究も進歩し、線型変換による解法によって、格子関係、晶癖面などの実験結果をかなり精密に説明できるようになった。しかし、マルテンサイト変態はおそらく転位のようなものの伝播

によって実施されるのであろうから、変態機構の解明のためには、静的な解法では充分でなく、動的あるいは速度論的な研究が望まれるのである。

Fe-Ni合金は最も典型的なマルテンサイト変態の見られる合金系で、Fe-C系と共に非常に多くの研究がなされている。また、この合金系には変態速度の非常に大きいウムクラップ変態とそれほど速くないシーブク変態2種類のマルテンサイト変態があり、変態速度とマルテンサイトの形態との間に深い関連があることが知られている。特にウムクラップ変態は変態速度が大きく、音速近くであること、バースト現象を伴うこと、あるいは双晶の伝播と深い関連があることなどから、その伝播の研究は転位論的にも興味深い。しかしながら、この分野の研究はあまり行なわれておらず、また、従来の測定結果には不明瞭な点があり、ウムクラップ変態における変態速度を定量的に議論する段階にはまだなっていない。

本研究の目的はウムクラップ変態における変態速度を正確に測定し、変態に関する速度論的な知見を得ることにある。

## 第二章 測定法の検討

ウムクラップ変態は速度が非常に速いために、その測定はかなり困難で、信頼できる測定結果は非常に少ない。また、これらの測定は電気抵抗の変化によるもので、その結果および解析方法に不明瞭な点が少ない。本章では、これら電氣的測定法の問題点を指適し、さらに磁氣的測定法との優劣を詳細に比較検討した。

## 第三章 実験方法

実験原理図を第1図に示す。試料はジュワー瓶をゆっくり上昇させることによって冷却された。試料の温度は銅-コンスタンタン熱電対によって測定され、 $M_s$ 点付近における冷却速度は約 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ であった。試料が冷却されて $M_s$ 点になると、マルテンサイト変態による試料の磁化の増加がおこる。磁化の変化は試料に巻かれた検出コイルでひろわれ、同軸ケーブルを経由して高速オシロスコープに入る。同軸ケーブルは不用な反射を除くため $50\ \Omega$ で終端した。信号が入ると、オシロスコープは掃引を開始し、信号の波形はカメラに記録される。試料中の磁区を整列されるために、試料には $2000\ \text{Oe}$ の磁場がかけられた。

## 第四章 実験結果

第2図はFe-31%Ni単結晶のマルテンサイト変態時の磁化変化を掃引速度 $0.5\ \mu\text{S}/\text{cm}$ で撮影したオシロスコープ写真である。信号は初めゆるやかな山を描き、 $2\sim 3\ \mu\text{S}$ ほど経過した後に複雑な振動となっている。このゆるやかなピークの経過時間は試料の大きさ、特に幅によって決

まり、同じサイズ(  $2 \times 2 \times 10^{-3} \text{ mm}$  )であれば非常に再現性よく  $2 \sim 3 \mu\text{s}$  の範囲に入る。

## 第五章 考 察

マルテンサイト相およびオーステナイト相の磁化および断面積をそれぞれ  $I_{\alpha}$ ,  $I_{\gamma}$ ,  $S_{\alpha}$ ,  $S_{\gamma}$  とすると、断面積  $S$  の試料の平均の磁化  $I$  は次のようにあらわされる。

$$I = ( I_{\alpha} S_{\gamma} + I_{\gamma} S_{\alpha} ) / S = ( I_{\alpha} - I_{\gamma} ) S_{\alpha} / S + I_{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

試料のまわりに巻数  $n$  の検出コイルを巻いておくと、変態時の磁化変化によって

$$e = - n S d I / d t \dots\dots\dots(2)$$

だけの起電力がコイルの両端に生ずる。  $S$  は定数であり、  $I_{\alpha}$ ,  $I_{\gamma}$  は温度が一定であれば、一定値をとるから、(1), (2)式から

$$e = - n ( I_{\alpha} - I_{\gamma} ) d S_{\alpha} / d t \dots\dots\dots(3)$$

となり、起電力からマルテンサイト量の時間微分が求まる。

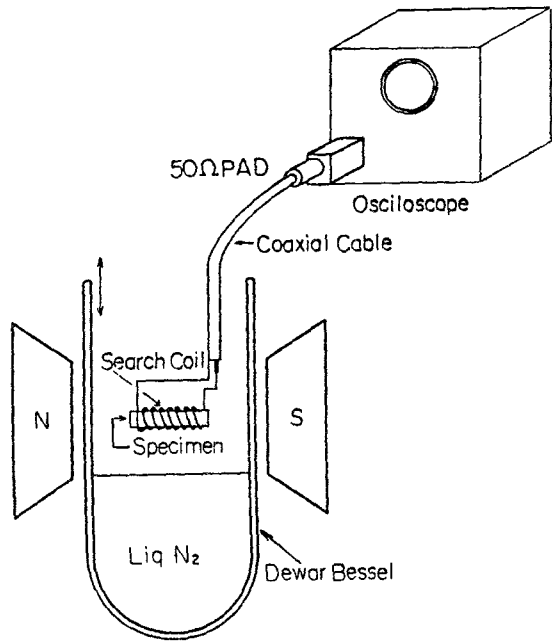
第2図の初期に見られるゆるやかなパルスの電圧を積分すると  $1.1 \times 10^{-7} \text{ V sec}$  になり、この値はマルテンサイトの面積  $1.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$  に相当する。この試料を顕微鏡で観察すること、試料の端から端までつき抜ける  $0.05 \times 2 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$  程度の長大なマルテンサイト板が見られる。したがって、このパルスが変態初期に形成された大きなマルテンサイト板に対応すると考えられる。

以上の実験結果と形態学的な研究の結果を詳細に検討し、マルテンサイト伝播機構に関する考察を行なった。その結果が第3図に示すくさび型模型である。核生成が試料の内部でおこる場合にはくさびを背中合せにしたマルテンサイト板を考えればよい。このような模型に立脚してマルテンサイトの伝播速度を求めると、  $1000 \text{ m/sec}$  になる。これは音速の約  $\frac{1}{3}$  である。

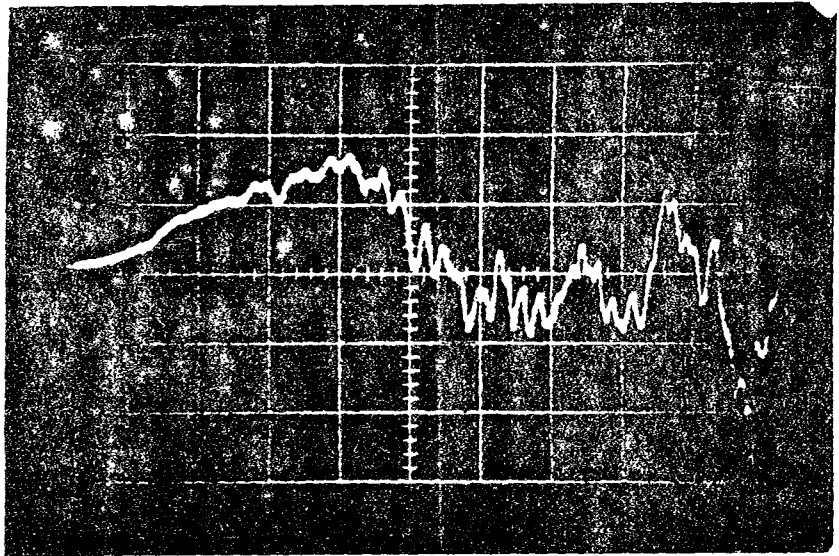
多結晶試料については、バースト現象に関する研究を行ない、次のような結果を得た。1回のバーストによる変態量は  $9 \sim 40\%$  で、その経続時間は数十～数百  $\mu\text{sec}$  であった。この経続時間は微細なマルテンサイト板1枚の形成時間  $0.05 \mu\text{sec}$  に比較して著しく遅く、最初のマルテンサイト板の形成と次に連鎖して発生するマルテンサイト板の形成との間に数  $\mu\text{sec}$  の遅延があることが推測された。

## 第六章 総 括

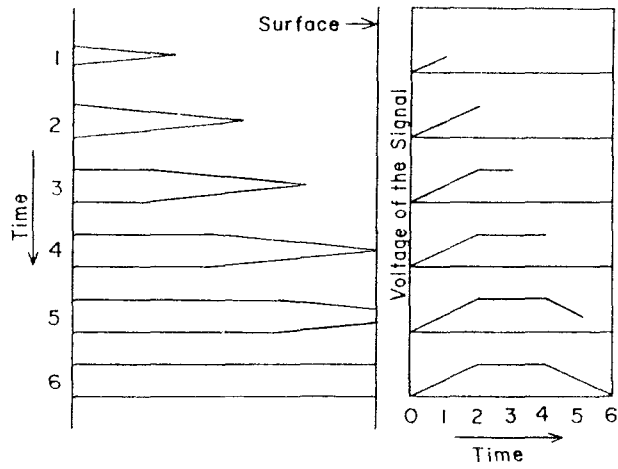
本研究において得られた結果ならびに考察について総括した。



第 1 図 実験装置の原理図



第 2 図 Fe-31%Ni 合金のマルテンサイト変態による磁化の変化 (掃引速度:  $0.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ )



第3図 マルテンサイトの伝播におけるくさび型模型と検出コイルの起電力

## 審査結果の要旨

マルテンサイト変態は鉄鋼のみならず，その他の鉄合金および非鉄合金系にも存在する金属学上極めて重要な変態であり，従来数多くの研究がなされている。とくに結晶学的，形態学的な研究が進んでおり，晶癖面，格子関係などはマルテンサイトの現象論によってよく説明されている。しかし現象論では変態の過程については言及できない。実際，マルテンサイト相は原子の連携的な運動によって形成されるので，変態機構の理解のためには，変態がどのような過程で進行しているかを知ることが必要である。マルテンサイトの速度論的研究が望まれるゆえんである。

本論文は従来行われていた電気的な測定法の欠点を指摘し，新たに開発した磁気的方法でFe-Ni合金におけるマルテンサイトの変態速度を，単結晶ならびに多結晶試料について詳細に測定し，速度論的な解釈を行ったものである。

第1章は序論であり，従来の研究の概況と本研究の目的について述べている。

第2章では変態速度の測定法について詳細に検討している。すなわち，従来行われていた電気的方法では異常な現象が観測され，変態量の定量が不可能であるという欠点を指摘し，新たに開発した磁気的測定法の利点について述べている。

第3章では，試料の作製方法と実験方法とについて述べている。

第4章では，実験の結果得られたオシロスコープ写真について詳述している。

第5章では，まず磁気的方法で得られた結果の解析方法について述べている。次いでオシロスコープ写真と顕微鏡組織とを対応させて検討し，単結晶中に形成された長大なマルテンサイトの伝播速度を求めている。さらに信号の波形を詳細に検討し，マルテンサイトの成長が，新たに提唱されたくさび型模型によってよく説明されることを明らかにした。この単結晶に関する研究は過去において全く行われていなかったもので，注目に値するものである。次に多結晶試料の実験結果から，バースト現象を解析して，バーストの継続時間がマルテンサイトの形成時間に比べて著しく長いことを明らかにし，最初のマルテンサイトの形成と，次々に連鎖的に発生するマルテンサイトの形成との間に時間的差があることによって説明している。

第6章は総括である。

以上要するに，本論文は新しい測定方法を開発し，まず従来全く行われていなかった単結晶中のマルテンサイトの変態速度の測定に成功して，その成長機構を解明し，進んでバースト現象の継続時間の測定から，その機構を明らかにしてマルテンサイトの変態理論に新しい知見を加えたものであって金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。