

Title	チタン合金および高マンガン鋼におけるマルテンサイトの微細組織に関する電子顕微鏡的研究
Author(s)	岡, 宗雄
Citation	大阪大学, 1966, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/29033">https://hdl.handle.net/11094/29033</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	岡	宗	雄
	おか	むね	お
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	第	8 5 2	号
学位授与の日付	昭和 41 年 2 月 26 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
学位論文題目	チタン合金および高マンガン鋼におけるマルテンサイトの微細組織に関する電子顕微鏡的研究		
論文審査委員	(主査)		
	教授	稔野	宗次
	(副査)		
	教授	美馬源次郎	教授 足立 彰 教授 茨木 正雄
	教授	三谷	裕康

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は耐食性と耐熱性の優れたチタン合金および加工硬化が顕著である高マンガン鋼のマルテンサイトの微細組織を電子顕微鏡的に調べたものである。

強じんな金属材料を求める産業界の要望は非常に強い。このような強じんな材料を得るためいろいろな方法がとられているが、その中の有力な方法としてマルテンサイト変態あるいは加工によって結晶内に多くの格子欠陥を合理的に内蔵させてその格子欠陥を利用していることがあげられる。このようにマルテンサイト変態は金属材料の強じん化に大きな役割を持っているが、変態の機構に対してはまだ十分に説明されていない。このマルテンサイトの変態機構を究明するためには各種金属のマルテンサイトに内蔵される格子欠陥を調べることが現段階として必要になっている。そこでまだマルテンサイトの微細組織について研究されていないチタン合金および異常硬化の原因がはっきりしていない高マンガン鋼を本研究で取りあげた。

チタン合金は軽量で耐食性に優れ、その上比較的高温における性質が良いなどの利点がある。そのため軽量と強力を要求する航空機用あるいは自動車用材料として盛んに用いられている。また耐食性を必要とする化学工業用の機器にも利用されており、この合金の強じん化は工業的にも重要な意義を持つものである。次に高マンガン鋼は冷間加工によって異常硬化するが、この材料のマルテンサイト晶や格子欠陥の種類、分布、形状などを調べることは硬化を必要とする他の金属材料に応用できるため有意義なものと考えられる。本研究ではこれらの材料を主として透過電子顕微鏡法を用いて研究し、補助的にX線回折法、硬度測定および光学顕微鏡などを用いた。

研究の結果は次のように要約される。

- 1 純チタンのマルテンサイトには  $\{10\bar{1}1\}$  面を双晶面とする内部双晶、(0001) 面上に存在した

積層不整と転位の3種類の格子欠陥が存在することが明らかとなった。とくにこの  $\{10\bar{1}1\}$  面の変態双晶はマルテンサイト変態持のもの、既に見いだされているチタンの5種類の変形双晶面に新しくこの  $\{10\bar{1}1\}$  変態双晶が加わったのである。更にチタンの加工変形によって現われる3種類のすべり面のうち、もっとも起こりにくいとされている(0001)面上にのみ積層不整と転位が存在することが明らかになったことは変態双晶とともに体心立方晶から稠密六方晶へのマルテンサイト変態機構を知る上に重要な手がかりになると考えられる。

2 チタン-モリブデン合金のうち6% Moを含むものの焼入組織はマルテンサイトと残留 $\beta$ 相があるといわれていたが、本研究ではX線的にも電子線的にも $\beta$ 相は認められなかった。そしてマルテンサイトには帯状のものとレンズ状のものとがあり、前者が先に生成してから後者のものがある間隙を埋めるようにできたと考えられる。このレンズ状のマルテンサイトは今までの研究発表では見られないもので、本研究の透過電子顕微鏡によって初めて見出されたものである。帯状のマルテンサイトには格子欠陥として純チタンの場合に見られた  $\{10\bar{1}1\}$  変態双晶と(0001)面上の転位とが本合金のマルテンサイトにも見られ、これらの格子欠陥はいずれもチタンのマルテンサイト変態特有のものであることが明瞭になったと考えられる。

3 高マンガン鋼の加工硬化組織についてX線のおよびレプリカ法と透過法の電子顕微鏡的研究を行った。X線回折法では加工硬化組織から $\alpha$ 相とか $\epsilon$ 相などの異相あるいは積層不整は認められなかった。しかし光学顕微鏡による観察では硬化組織に strain marking が認められるので、レプリカ法によってその表面模様を観察した結果それは $\epsilon$ -マルテンサイトか積層不整によるものであることが推測された。更に透過電子顕微鏡法によって strain marking は $\epsilon$ -マルテンサイトと積層不整とであることがはっきりしたが、そのほかに本研究でオーステナイト(面心立方晶)の(111)面上に変形双晶があることも見出された。これらの格子欠陥が高マンガン鋼の加工による異常硬化の原因になっていると考えられる。

## 論文の審査結果の要旨

本論文はチタン合金および高マンガン鋼において生じたマルテンサイトの微細組織を主として電子顕微鏡により研究した結果をまとめたもので5章からなっている。

第1章は序論であり、マルテンサイト変態機構の解明は高張力材料を開発する上で一つの重要な意義を持つことを述べ、現在までに得られているマルテンサイト変態に関する研究結果の簡単な要約を行ない、今後の発展のためには各種マルテンサイトに内蔵される格子欠陥を実験的にしらべることの必要性を指摘している。本研究においてはチタン合金のマルテンサイトおよび高マンガン鋼の加工硬化組織に含まれる格子欠陥を電子顕微鏡によって観察したと述べている。前者の場合はチタン合金の強化および $\beta$ (b. c. c.) $\rightarrow\alpha'$ (h. c. p.) マルテンサイト変態の理解に役立てようと試みたものであり、後者の場合は加工硬化の原因の究明に役立てようと試みたものであると述べている。

第2章では工業用純チタンを、高温で安定な $\beta$ 相(b. c. c.)の状態から焼入れして生ぜしめた $\alpha'$

マルテンサイト (h. c. p.) の微細組織を透過電子顕微鏡法によって観察した結果について述べている。 $\alpha'$  マルテンサイト晶の内部には内部双晶、積層不整、転位の3種の格子欠陥の存在を確認している。

まず内部双晶は  $\{T011\}$  を双晶面とするものだけが存在し、これは変形双晶とは別でありその厚さは  $600\text{\AA}$  程度であることを見だし鉄—ニッケル合金とか高炭素鋼のマルテンサイトにおける内部双晶より厚いと述べている。

また  $(T011)$  内部双晶には  $(12\bar{3}1)T$ ,  $(02\bar{2}3)T$  および  $(11\bar{2}0)T$  の3種類の incoherent な境界が認められ、これらの幾何学的関係から境界エネルギーを評価した結果、これらの境界は熱平衡にあるとしては説明できず、変態過程において生じたものと推論している。また内部双晶面  $(T011)$  はマルテンサイトの晶癖面を  $(\bar{3}\bar{3}4)\beta$  とすれば、Burgers の関係から母相のすべり面である  $(T01)\beta$  に相当すると述べている。さらに積層不整および高密度の転位はマルテンサイト晶の地の中でも内部双晶の中でも  $(0001)$  面上にあることを見いだしている。チタンの  $(0001)$  面ではすべりは起こりにくいもので、マルテンサイト内にこれらが存在することは  $\{T011\}$  内部双晶とともに興味深いことであると述べている。

第3章は、チタン—モリブデン合金を高温の  $\beta$  相から焼入れした組織を主に透過電子顕微鏡法によってしらべた結果につき述べたものである。焼入れした本合金についてのX線および電子線回折では  $\beta$  相 (b. c. c.) および  $\omega$  相 (hexagonal) の回折斑点は認められず、 $\alpha'$  マルテンサイト (h. c. p.) によるものだけがみられたと述べている。また焼入れ試料の光学顕微鏡組織にみられる針状晶は電子顕微鏡では帯状のマルテンサイト (h. c. p.) として観察され、それ以外の部分には別の小さいレンズ状 ( $0.1\mu \times 1\mu$  程度) のマルテンサイトが見られ、量的にはこの方が多いと述べている。帯状マルテンサイト内の格子欠陥は  $\{T011\}$  内部双晶と  $(0001)$  面上の転位とであり両者共存の場合が多いことを見いだしている。そして  $\{T011\}$  内部双晶は、ほかの合金系たとえば銅—アルミニウム合金の  $r'$  マルテンサイト、銅—錫合金の  $\beta'$  マルテンサイトにも見いだされていることから体心立方晶から稠密六方晶へのマルテンサイト変態に対し、 $(0001)$  面上の転位とともに重要な役割をもつこと、またレンズ状のマルテンサイトはその形状や位置から考えて帯状マルテンサイトがまず生じ、その間隙を埋めるようにしてできたものであろうと推論している。

第4章は高マンガン鋼に関するもので、この鋼は  $1000^\circ\text{C}$  以上から焼入れると完全な  $r$  相 (f. c. c.) であるが冷間加工によりいちじるしい加工硬化を起し、これに対応して光学顕微鏡組織では Strain marking が認められたと述べている。しかしX線回折では  $r$  相しか検出できなかったので、この Strain marking の本性を知るために、同一場所を腐食時間を変えてレプリカによる電子顕微鏡観察を行ない、その marking は  $(111)r$  の晶癖をもつ面が表面に現われたV形溝であることを見だし、そのV形溝の底を通るきわめて薄い層が marking の芽であり、恐らくこれが  $e'$  マルテンサイトまたは積層不整であろうと推察した。さらにこの点を吟味するために30%冷間圧延した試料を透過電子顕微鏡法で観察した結果、 $e'$  マルテンサイトおよび  $(111)r$  の積層不整は勿論のこと、そのほかに高密度の転位および薄い変形双晶の存在も確認している。但し  $\alpha'$  (b. c. c.) マルテンサイトは電子線回折でも認められなかったと述べている。そしてこれらが Strain marking の原因になっている

とともに、加工硬化の原因であろうと推論している。

第5章は各章で述べられた結果の総括である。

本論文は工業用純チタンおよびチタン-モリブデン合金の焼入れ組織および高マンガン鋼の加工硬化組織を電子顕微鏡により研究した結果について述べたものである。その結果チタンおよびチタン合金はマルテンサイトの中に数百 Å の厚さの  $\{T011\}$  内部双晶と (0001) 面上に高密度の転位を見いだしている。これらの実験事実は体心立方晶から稠密六方晶へのマルテンサイト変態の特徴と考えられるもので、マルテンサイト変態理論の発展のための貴重な資料を与えると同時にチタン合金の強じん化の方法を見いだすにも役立つと考えられる。一方、高マンガン鋼の加工組織には  $\epsilon'$  マルテンサイトのほかにオーステナイトの積層不整、薄い変形双晶および高密度の転位を見いだすことによって加工硬化の原因究明に大きく貢献するとともに面心立方構造をもつ合金の冷間加工時におこるマルテンサイト変態の理解に貢献している。以上のように本論文は冶金学上寄与するところが大きく、博士論文として価値あるものと認める。