

氏 名	徳 田 祥 一 とく だ しょう いち
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 543 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 9 月 25 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	チタン合金の熱間圧延板にあらわれる変態ミクロ偏析の金属組織学的研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 村上陽太郎 教 授 足立正雄 教 授 田村今男

論 文 内 容 の 要 旨

この論文はチタン合金の熱履歴に関連して変態にともなうあらわれるミクロ偏析を究明し、熱間圧延板に発生する異常組織の形成機構とその防止法などを研究した結果をまとめたもので、10章からなっている。

まず第1章緒論においてチタン合金の熱間圧延板に発生する異常組織について説明し、この組織は変態にともなう平衡状態図の2相分離過程に生じるミクロ偏析に起因すると考えられることを述べ、本研究の工業的な意義と方針とを明らかにしている。

ついで第2章はチタン合金の金属組織学的な検討の結果を述べたもので、代表的な7種類の実用合金について、熱処理条件による組織の変化を光学ならびに電子顕微鏡組織観察、X線マイクロアナライザー（以下 EPMA と略称）、X線回折などの方法によって明らかにし、それらの結果を平衡状態図的に分類し、 β 安定化の程度の大小から5種類に大別できることなどを述べている。

第3章では組織成分中の合金元素濃度の EPMA による定量分析法の検討結果を述べている。標準試料を使用して検量線を求める方法を採用し、標準試料として高純度チタン、Cr, Fe, Mo, V および Al を含む2元系、およびこれらの元素を含む5種類の多元系実用合金と10種類の多元系人工合金を用いて各元素に対する検量線を求め、それらの結果を電子計算機で処理し、共存元素の影響を考慮した検量線をあらわす式を得ている。Cr と V に対しては $Cr < 10\%$, $V < 16\%$ の範囲では、2元系と Al を含む多元系とは差はなく、合金元素含有量の2次式で示されるが、Fe, Mo および Al に対しては2元系では2次式で、多元系では1次式でそれぞれ示されること、回帰分析から求めた寄与率は99%以上で、そのときの各元素に対する誤差は含有量がそれぞれ5%の場合に、Cr で約2.6%, Fe で1.8~3.0%, Mo で4.0~6.0%, V で約 1.8%, Al で 2.4~7.6% 程度であることを明らかにし、本研究の目的に対する定量分析がかなりの精度で可能であることを確かめている。

第4章は前章の EPMA による定量分析法を用いて β 相領域からの冷却の際に $\beta/\alpha+\beta$ の変態にとも

なって生じる α , β 相中の合金元素の濃縮度の差異, すなわち変態マイクロ偏析におよぼす冷却速度, 合金元素の種類とその含有量の影響を定量的に測定した結果を述べたものである。Cr, Fe, Mo, V および Al を含む各 2 元系においては, Fe および Al は 1~11%, Mo および V は 1~16%, Cr は 2~21% の範囲内でそれぞれ 3~4 種類の合金組成をえらび, さらに実用合金として, Ti-5Al-2Cr-1Fe, Ti-8Al-1Mo-1V, Ti-6Al-4V, Ti-4Al-3Mo-1V および Ti-16V-2.5Al の 5 種類の合金を用い, 冷却速度を 1.7°C/分から 4200°C/分まで 5 段階に変化させている。実験結果を偏析指数, 実効分配係数および新たに定義した β 安定化率を用いて整理し, 変態マイクロ偏析発生傾向は合金元素の種類によって変化し, Mo あるいは V が 4% 以下の場合には, Fe→Cr→Mo→V→Al の順に, またそれらが 10% 以上の場合には, Fe→Cr→V→Mo→Al の順に減少すること, その傾向は含有量によっても変化し, Fe, Cr, Mo および V では, 含有量が少ない程その傾向は大きく, すなわち β 安定化度が大きくなる程マイクロ偏析は発生しにくくなること, 冷却速度が小さい程偏析の傾向は大きくなるが, 偏析発生に限界冷却速度があって 4200°C/分のような速い冷却速度では偏析が生じないことなどを見出し, さらに電子線吸収像によってマイクロ偏析の分布状態を知ることができること, 偏析を生じている部分が集落をなして存在し, 光学顕微鏡でみられる異常組織とよく対応することなどを明らかにしている。

第 5 章は Ti-Al 系および実用合金中の Al のマイクロ偏析の研究の結果で, α 安定化率を定義して議論することが便利であることを示し, Al 含有量が増すとともに α 安定化率が大きくなり, α の安定度が高くなるが, 一般に 2 元系におけるよりも β 安定化元素を含む実用合金の場合の方が, α 安定化の程度は低くなって冷却速度の影響を受けやすく, ミクロ偏析の発生が容易になることなどを示し, また α 単相内における Al のマイクロ偏析発生過程を Ti-Al 2 元系状態図を用いて論じている。

第 6 章では前章までに明らかにした変態マイクロ偏析に関する基礎的研究結果をまとめ, 次章以下の熱間圧延板の異常組織の究明の基盤としている。

第 7 章は実用 Ti-5Al-2Cr-1Fe 合金の熱間圧延板にあらわれる異常組織とその機械的性質におよぼす影響について述べたものである。この合金の熱間圧延板の光学顕微鏡組織にみられる層状の異常組織について EPMA による走査ならびに点分析による合金元素の濃度変化, 電子線吸収像および硬さ測定などによって調べ, これらの部分はスラブに存在した変態マイクロ偏析が圧延過程で消滅せずに残ったもので, 上記の変態マイクロ偏析そのものであることを明らかにしている。またマイクロ偏析が層状に存在する異常組織を有する板は引張性質などの機械的性質に異方性を示し, 引張強さ, 耐力は直角方向が圧延方向よりも 6~12kg/mm² も高く, 伸びは 2~4% と極端に低く, 好ましくない性質が現われることなどを見出している。

第 8 章は各種実用チタン合金熱間圧延板の異常組織の発生についての研究結果で, Ti-8Al-1Mo-1V, Ti-4Al-3Mo-1V, Ti-6Al-4V, Ti-16V-2.5Al: および Ti-8Mn の 5 種類の実用合金について, 前章の場合と同様にそれらの異常組織を調べ, これらの部分はいずれも β 安定化元素が濃縮していることを見出し, その発生はスラブ組織が不良である場合に起こり, 熱間圧延条件とくに圧延温度の高低, すなわち $\beta/\alpha+\beta$ 変態温度の附近あるいはそれ以上か, もしくはこの変態温度よりも十分に低いかにによって異常組織の程度はかなり異なるが, いずれにしても異常組織が発生することなどを明らかにしている。

第9章は変態マイクロ偏析に起因する異常組織の防止法の研究結果を述べたもので、熱間圧延板の製造条件を検討し、圧延条件のみならずスラブの鍛造条件も極めて重要な因子であることを見出し、スラブの鍛造条件として加熱は $\beta/\alpha+\beta$ 変態温度以上でもよいが、割れが生じないように注意して十分な粗鍛造を行ない、仕上鍛造の加熱は上記の変態温度以下 50°C の温度を最高限度とし、加熱毎の鍛造比は断面積で2ないし3程度として加工熱によってスラブの過熱を生じないように留意し、一方熱間圧延条件としては、スラブの加熱は $\beta/\alpha+\beta$ 変態温度以下 100°C の温度を最高加熱温度とし、中間加熱温度はさらに 50°C ないし 70°C 低くして、1パス毎のロールの圧下率は10%以下にすることなどが異常組織の発生の防止策として必要であることなどを見出している。

第10章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

この論文はチタン合金の熱間圧延板に発生する異常組織に関して、その形成の機構を平衡状態図的に研究したものである。まずチタン合金として代表的な α 、 $\alpha+\beta$ および β 型の7種類の実用合金について熱処理条件による金属組織の変化を調べ、それらが平衡状態図的に β 安定化度の大小から5種類に分類できることを示し、異常組織を変態にともなう平衡状態図的2相分離過程から追究しようとする基盤を確立している。つぎにX線マイクロアナライザー（以下EPMAと略称）を用いて組織成分中の合金元素の定量分析を行なうため、多数の2元系、多元系合金の標準試料を作成して個々の元素に対する検量線を求め、それらの結果を電子計算機で処理し、各元素に関して共存元素の影響を考慮した検量線をあらわす式を得ている。回帰分析から求めた寄与率は99%以上で、誤差は含有量が5%の場合に最大でも7%程度で精度のよい定量分析ができることを示している。

次に上記の各種チタン合金について冷却に際して $\beta/\alpha+\beta$ 変態にともなって生じる α および β 両相中の合金元素の濃縮度の差、すなわち著者のいう変態マイクロ偏析の度合を種々の冷却速度の場合に定量し、その結果を偏析指数、実効分配係数および新たに定義した β 安定化率（Alの場合は α 安定化率）などを用いて論じ、偏析の度合は合金元素の種類とその含有量とによって変化し、また冷却速度が速い程マイクロ偏析発生の傾向が小さくなることなどを明らかにするとともに、電子線吸収像によってマイクロ偏析の分布状態を観察し、光学顕微鏡組織でみられる異常組織はマイクロ偏析に対応していることを実証することに成功している。

さらに各種の実用チタン合金の異常組織について上記と同様な方法で詳細に究明し、それらの異常組織はスラブに存在した変態マイクロ偏析そのものが圧延過程で消滅せずに残留したものであることを確認し、また層状の異常組織を有する板は引張性質などの機械的性質に異方性を示し、とくに圧延方向に直角な方向の伸びが極端に低いこと、その形成を防止するには圧延条件のみならずスラブの鍛造条件も極めて重要であることなどを明らかにし、粗鍛造、仕上鍛造および熱間圧延の各上限温度を $\beta/\alpha+\beta$ 変態温度に対して決定し、鍛造比、圧下率などに対しても多数の資料を与えてその防止策を確立している。

これを要するにこの論文はチタン合金の組織成分中の合金元素のEPMAによる定量分析法を確立し、熱履歴に関連して変態にともなってあらわれるマイクロ偏析を金属組織学的に詳細に解明するとともに工業

用合金の熱間圧延板の異常組織の成因を明らかにし、その防止策を確立するなど学術上にも工業上にも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価値あるものと認める。