

氏名	田畑裕之
生年月日	
本籍	石川県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第230号
学位授与の日付	平成10年3月25日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	TiAl金属間化合物の強度評価へのX線回折法の適用と弾性的性質の結晶学的考察
論文審査委員	(主査) 廣瀬 幸雄 (副査) 小村 照寿, 北川 和夫, 佐々木敏彦, 中村 森彦

学位論文要旨

ABSTRACT

X-ray stress measurement was applied to two-phase TiAl alloys with various compositions and different microstructures. In contrast with the mechanically determined elastic constants, the X-ray elastic constants showed microstructure dependence. Near- γ and lamellar structures gave the same X-ray elastic constants as their mechanical ones, whereas duplex structure gave the fairly lower X-ray value than the mechanical one. The fact suggests the difference in microscopic stress state among these materials, that is the deformation in the former type structure is under the Voigt assumption that strain is uniform throughout the aggregate and the deformation in the latter approaches the Reuss assumption that stress is uniform.

学位論文要旨

軽量, 耐熱性を特徴とする TiAl 金属間化合物は, 我が国でも平成元年から始まった通産省の次世代産業基盤技術「超耐環境先進材料」プロジェクトにも取り上げられるなど, 基礎物性から, 製法, 加工法に至るまで多方面にわたり精力的に研究が進められており, 例えば, 自動車用のターボチャージャーローター¹⁾, エンジンバルブ²⁾, 航空機用タービンブレード⁽¹⁴⁾等への適用を目指した応用研究も活発に行われている. しかし, 延性, 靱性の改善は今なお実用化に向けての大きな課題であり, この点で TiAl (γ) 単相材よりも $Ti_3Al(\alpha_2)$ 相との二相材の方が有利とされるが^{(15)~}

(17), 二相材の変形や破壊の機構については未だ不明な点が多いのが実状である。

これまでの研究によると, TiAl 二相合金の鑄造組織は概して微細層状組織 (ラメラ) となるが(18)~(20). その強度は双方の単相材よりも強く, 組織依存性が顕著で, 複合則からの予想を越えている. さらに TiAl 二相合金は, ラメラ組織のほか, 等軸 γ 粒を含む混粒組織(duplex), ほぼ γ 単相組織など様々な組織に制御が可能で(16)(22)(23), 靱性の点ではラメラが有利であるが, 一方, 延性の点からは γ 粒が比較的多く, 微細組織の方が有利のようである(24). ラメラ組織の強靱化機構については, K.S.Chan ら(25)によるシェアリガメント, W.O.Soboyejo ら(26)によるデフレクション, S.Tsuyama ら(27)によるマイクロクラックなどの提案があるが, 二相材の延性向上の機構については, 未だ定説はない. いずれにしても, 結晶粒や相の形状, サイズ, 方位, また粒界や相境界の性質といった組織的因子の検討は不十分である. 加えて, これら微視組織内での各々の相の力学的挙動, 役割についての論議はほとんどされていない.

このように, TiAl 二相合金は様々な組織を持ち, 機械的性質や破壊挙動がそれぞれの組織形態に敏感であることから, 変形や破壊の機構解明には微視組織とそれぞれの相に着目した強度評価が必要と考える. このような観点から, 本研究では, 種々の組織形態を持つ TiAl 二相合金の材料試験, 破壊試験を行うとともに X線回折法による強度評価を試みた.

X線応力測定法は, X線回折データから結晶の格子ひずみを直接測定する方法で, 機械的な方法と比べて, 残留応力の非破壊測定や局部, 表層の応力を測定できる利点がある(28). そのため, 従来, X線応力測定法は, 鉄鋼材料をはじめ等方均質な金属系構造材料の残留応力測定手法として発展してきたが(29), 最近ではセラミックスなどの各種新材料や(30), また薄膜など異方性の強い材料にも応用されている(31)~(35). さらに, この方法は, 原理的に固有の結晶の固有の回折面に基づく情報であるためマクロな応力評価のみならず, 複合材料の相応力など微視的応力状態の評価法としての展開もなされてきている. このように, X線応力測定法は他の測定法にない多くの利点を持つものの, これまでに TiAl に適用した例はない.

本研究では, この X線応力測定法と, その破面への応用技術である X線フラクトグラフィ手法, ならびに回折線の bloating 要因の微視的格子ひずみと結晶子サイズの情報が得られるプロファイル解析の 3つの X線材料強度評価技術を, TiAl 金属間化合物合金の強度評価に応用展開することを目的とした.

また一方では, α_2/γ 二相 TiAl 合金中の微視的・巨視的弾性挙動を構成二相の単結晶の弾性的性質から結晶学的知見に基づいて計算により類推することを目的とした.

本章では、各章で得られた主要な成果について記述する。

第2章では、状態図および結晶構造の情報に基づいて、種々の組織形態（ラメラ組織、 γ 単相等軸粒組織、およびそれらの混粒組織: Duplex, と Widmanstätten）を持つ $\gamma+\alpha_2$ 二相合金を鋳造、熱処理により作成し、硬さ試験、引張試験、破壊靱性試験および疲労き裂伝ば試験を行い、機械的性質や破壊挙動と組織および組成との関係を明らかにした。

第3章では、TiAl合金開発の中心素材である48mol%Al鋳造ラメラ材を用いて、はじめてTiAl合金へのX線応力測定法の適用を試みた。Cr-K α 線の γ -TiAl 311回折線を用い、PSPC、揺動法により得られたX線の弾性定数の妥当性と誤差要因を検討し、TiAl合金のX線応力測定が可能なことを提示した。

第4章では、第3章に続いて種々の組織形態をもつTiAl二相合金へのX線応力測定法の拡大適用を図り、X線の弾性定数を求めた。その結果、機械的弾性定数が線形の組成依存を示すのに対して、X線の弾性定数はDuplex組織となる46mol%Alの組成で極小値をとる特異な組成依存を示した。このことより、組織形態に依存する合金内部の微視的応力状態を類推した。

第5章では、急冷により微細な γ 単相、無配向組織となるマッシュ変態組織およびその焼きもどし組織材に、X線回折プロファイル解析を適用し、焼きもどし過程の硬さ変化と微視応力、結晶子サイズとの関係を求めた。さらに、この章では硬さにおよぼす巨視応力の影響も併せて評価した。

第6章では、組織の異なる $\gamma+\alpha_2$ 二相TiAl合金の破壊じん性破面へのX線フラクトグラフィ法の適用を試み、測定上の問題点を克服した結果、組織や破壊様式の違いによらず、破壊力学関係式で一義的に整理でき、X線フラクトグラフィ手法がTiAl合金の場合も破壊原因・破壊形態を解明する手段になり得ることがわかった。

第7章では、TiAl金属間化合物に特徴的に現れる α_2/γ 二相層状組織（ラメラ）の積層構造と弾性的性質の関係を明らかにするため、単結晶の弾性的性質からラメラの巨視的な弾性的性質を、その積層構造の結晶学的知見に基づいて計算により推察した。

第8章では、7章で推察したラメラ粒の巨視的弾性定数の結晶方位分布の実験的検証を目的に、結晶全体が一個のラメラ粒からなるTiAl PST結晶を用いて、透過Laue法による γ 相中のdomainの分散状態の評価と、圧縮試験による弾性異方性の評価を行った。その結果、7章の計算結果の妥当性が検証できた。

以上より、本研究によりTiAl金属間化合物の材料研究に、X線回折法による強度評価法が適応しうることが実証でき、また測定法の指標を与えることができた。

今後の課題としては、TiAlのX線回折法による強度評価法を実用レベルの技術として定着させるべく測定法のさらなる検討が必要であると考えられる。

学位論文審査結果の要旨

各審査委員らによって、さきに提出された学位論文ならびに学位申請書類を個別に審査し、平成10年2月11日に開催した口頭発表の内容を踏まえ、同日審査会を開催し協議した結果、以下のとおり判定した。

本論文は、次世代の軽量耐熱材料として合金開発が盛んなTiAl金属間化合物の材料研究に、これまで適応例のなかったX線回折法による材料強度評価技術の導入を図り、新しい知見を得るとともに、新たな視点を提示しようとするものである。また、TiAl金属間化合物の特徴である α_2/γ 二相層状組織（ラメラ）と機械的性質との関係を明らかにすることは、この系の合金開発上重要な問題であることから、構成二相の単結晶の弾性定数に基づいてラメラの積層構造と微視的・巨視的弾性異方性の関係を理論的に推察し、実験的検証を加えようとするものである。

本論文の内容および成果は、概ね次の3点に要約される。

- 1) 種々の組織形態（Lamellar, Near- γ , Duplex, Widmanstätten）を持つ $\gamma + \alpha_2$ 二相TiAl合金を鋳造、熱処理により作成し、硬さ試験、引張試験、破壊靱性試験および疲労き裂伝ば試験を行い、機械的性質や破壊挙動と組織および組成との関係を明らかにした。
- 2) TiAl金属間化合物の材料研究に、X線応力測定、破面のX線フラクトグラフィ、X線プロファイル解析の3つのX線回折法による材料強度評価技術の導入を図り、これらの評価法が可能かつ有用であることを提示した。
- 3) α_2/γ 二相層状組織（ラメラ）の積層構造と巨視的・微視的弾性異方性の関係を構成二相の単結晶の弾性定数から理論的に推察し、その妥当性を一個のラメラ粒からなるTiAlPSTを用いた圧縮試験により検証した。

これらの成果は、TiAl金属間化合物の材料開発上有用であり、また、新たな視点を提示するものとして高く評価できる。したがって、本論文は博士の学位論文に十分に値するものと判定する。