

Title	Ti3Alにおける交番応力下での転位の振る舞いと疲労・破壊挙動
Author(s)	小泉, 雄一郎
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3161861
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	小 泉 雄 一 郎 <small>こ いずみ ゆう いち ろう</small>
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 9 5 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 11 年 9 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科 マテリアル科学専攻
学 位 論 文 名	Ti ₃ Al における交番応力下での転位の振る舞いと疲労・破壊挙動
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 馬 越 佑 吉 (副査) 教 授 齋 藤 好 弘 教 授 山 本 雅 彦 教 授 白 井 泰 治 教 授 森 博 太 郎 教 授 北 川 浩

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、「軽量耐熱構造材料としての Ti₃Al の疲労・破壊機構の解明」と、「DO₁₉ 型金属間化合物としての Ti₃Al における、転位挙動と繰り返し変形挙動との相関の解明」という二つの立場から、Ti₃Al 単結晶の疲労挙動に関する一連の研究結果をまとめたものであり、以下に示す 6 章から構成されている。

第 1 章では、Ti₃Al の疲労を研究する背景、意義と本研究の目的について調べられている。

第 2 章では、Ti₃Al の基本的なすべり系である錘面、底面ならびに柱面上の各すべり系の特徴とその塑性挙動について調べている。その中で、申請者が明らかにした、規則度の低下に起因する、柱面すべりの異常強化現象を紹介している。

第 3 章では、室温における Ti₃Al 単結晶の疲労挙動について述べている。疲労・破壊挙動は強い結晶方位依存性を示し、底面、錘面すべりが活性化されると、疲労初期において脆性破壊するが、柱面すべりの場合は、より延性的な挙動を示す。二つの柱面すべり系が同時に活動する場合には、この結晶特有の刃状転位の束とらせん転位からなる飽和束状組織 (SBS) が形成され、顕著な疲労硬化や亀裂発生の原因となる。種々の実験および観察により、SBS の形成機構、安定性ならびに SBS 中の転位運動の特徴を明らかにしている。また、SBS とともに疲労硬化の原因となるデブリについても、その安定形態ならびに交番応力下での振る舞いを、詳細な TEM 観察と転位間相互作用の計算により明らかにしている。

第 4 章では、-196°C から 800°C の温度域での疲労挙動について述べている。-196°C においては、SBS に代わって超格子部分転位同士の反応に起因した転位の束が形成される。また、室温とこの温度で形成されるデブリの密度とサイズの違いから、その形成機構を明らかにしている。一方、室温以上では、500°C までの広い温度範囲で、SBS が疲労挙動を支配している。700°C では動的回復により SBS は発達せず、疲労硬化は大幅に緩和されるものの、800°C では、転位間の反応に起因して著しく急速な疲労硬化を示すとともに、特異な表面起伏の形成と独特の亀裂伝播により破壊することを示している。また疲労の破壊形態についても詳細に検討し、刃状転位の反応が亀裂発生を促し、その亀裂は底面ならびに錘面に沿って伝播しやすいことを明らかにしている。

第5章では、疲労特性改善の立場から、SBS形成の有無に注目して、逆位相領域境界 (APDB) と γ プレートの二種類の微細組織の影響について述べている。APDB は、柱面転位の運動形態を変化させ、疲労挙動も著しく変化させる。また、SBS の形成を抑制することから、APD の導入が疲労特性改善にとって有効であることを示唆している。 γ プレートはらせん転位の運動を阻害し、デブリや SBS の形成を抑制するものの、刃状転位同士の反応に起因すると思われる亀裂の形成を誘発することを明らかにしている。

第6章では、本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、新軽量耐熱材料として期待される Ti-Al 系合金の主要な構成相である Ti_3Al に注目し、その疲労・破壊挙動を転位の往復運動とその所産としての変形微細組織の形成といった微視的立場から捉え、疲労変形機構の解明と、疲労特性改善を図った一連の研究結果をまとめたものである。主な結果を要約すると以下のとおりである。

(1) Ti_3Al 単結晶の疲労寿命は強い結晶方位依存性を示し、柱面すべりが活性化する方位では比較的良好な疲労寿命を示すが、錘面すべり、底面すべりで変形が律速される場合は、極めて脆くなり、疲労初期に破壊することを明らかにしている。

(2) 二つの柱面すべり系が同時に働く場合、急速な疲労硬化を示した後飽和に至る。この際、刃状転位の束と、その間を運動するらせん転位からなる、特異な飽和束状組織 (SBS) が形成されることを初めて観察し、この SBS の形成機構を明らかにすると共に、SBS の形成とその安定性が疲労硬化、亀裂発生と密接な関係があることを明らかにしている。

(3) 疲労変形した Ti_3Al 結晶中には、超格子転位ならびに超格子部分転位の双極子が多数存在することを見出している。転位間の相互作用力、面欠陥エネルギー、双極子の高さを考慮した計算と電子顕微鏡観察結果との比較より、超格子転位双極子は4本の超格子部分転位がZ型に配列した安定な形態を持つことを明らかにしている。

(4) Ti_3Al の疲労変形挙動の温度依存性を $-196^{\circ}C$ から $800^{\circ}C$ の温度域で調べている。 $-196^{\circ}C$ においては、転位の活性化、増殖が困難であることを反映して、変形は不均一となり、粗大な表面起伏への応力集中により、疲労寿命は低下する。室温近傍では SBS の形成とその形態が疲労挙動を支配するが、高温においては、SBS の発達が抑制され、疲労硬化が緩和される。さらに高温 ($800^{\circ}C$) になると、転位間の反応による転位ネットワークの形成により、再び疲労硬化を示すことを明らかにしている。

(5) Ti_3Al の疲労特性改善のための微細組織の制御と転位の運動挙動、疲労特性への寄与を調べている。 Ti_3Al 相中への γ プレートの導入は、らせん転位の運動を阻害し、変形応力の上昇をもたらす。これによりデブリや SBS の形成は抑制されるが、刃状転位同士の反応に起因する亀裂形成により、疲労寿命改善には必ずしもつながらないことを見出している。一方、逆位相領域境界 (APDB) の導入は、疲労硬化や飽和現象に影響をもたらす。特に二つの柱面すべりが働く場合、APDB の寸法、活動転位の種類に依存して SBS の形成を遅延させ、疲労寿命改善をもたらすことを明らかにしている。

以上のように、本論文は、 Ti_3Al の疲労・破壊挙動を転位の往復運動と反応および微細組織形成といった微視的な立場から解明しているのみならず、疲労寿命改善のための新たな提言を行うなど、耐熱材料の開発と実用化に関する重要な知見を示し、材料科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。