

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 李 偉博

学 位 の 種 類 博士(工学)

学 位 記 番 号 工府博甲第558号

学位授与年月日 平成30年3月23日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学 府 ・ 専 攻 名 工学府 システム統合工学専攻

学 位 論 文 題 目 Subsurface fatigue crack generation in Ti-Fe-O alloy at low temperature
(Ti-Fe-O合金の低温疲労における内部き裂形成)

論文審査委員	主査	横浜国立大学	教授	梅澤 修
		横浜国立大学	教授	廣澤 涉一
		横浜国立大学	教授	中尾 航
		横浜国立大学	准教授	長谷川 誠
		横浜国立大学	准教授	前野 智美

論文及び審査結果の要旨

本論文は、near- α 型 Ti-Fe-O 合金の低温疲労で生じる内部き裂形成のメカニズム検証に関する一連の研究成果をまとめたものである。論文は全6章で構成される。

第1章では、 α 及び $\alpha+\beta$ チタン合金の先在欠陥によらない内部疲労き裂発生について、塑性変形モードおよび内部き裂形成機構について従来の知見をまとめ、本研究の目的を述べた。

第2章では、near- α 型 Ti-Fe-O 合金の組織解析と疲労試験結果についてまとめた。供試材は、熱間圧延材の圧延方向に平行(L材)と垂直(T材)、熱間圧延材にクロス圧延を加えたCR材、熱間圧延材に溝圧延と冷間スエージ加工を加えたCR材の4種(焼鈍し熱処理)である。CR材およびL材とT材は、回復 α 粒と再結晶 α 粒の領域とに区別され、微細集合組織を有する。一方、CS材は弱い $\{10\bar{1}0\}$ 繊維集合組織を呈する。293 Kの 10^7 回疲労強度はCS材が他に比較して数10 MPa高く、結晶粒微細化・結晶方位ランダム化の効果が得られた。しかし、77 Kでは組織形態の違いによる高サイクル疲労強度の差異はほとんど認められなかった。

第 3 章では、透過型電子顕微鏡を用いて CR 材と CS 材の疲労変形飽和転位組織解析を行い、内部疲労き裂形成の要因について検討した。転位運動は $\{10\bar{1}0\}\langle 11\bar{2}0\rangle$ すべりで同一すべり面上に拘束される。しかし、CR 材と CS 材とでは形成した転位組織に違いが認められた。すなわち、CR 材では、回復 α 粒内において亜粒界構造に転位再配列が生じたが、再結晶 α 粒内は孤立転位が 293 K で認められたのみで、77 K では転位の確認ができなかった。一方、CS 材では、 α 粒内および β 粒内に pile-up 転位列が導入され、それら転位列は α/β 界面に堆積し、高応力レベルにおいてのみ隣接粒への転位列の放出が生じていた。いずれの材料においても、回復 α 粒と再結晶 α 粒間、あるいは隣接する α 粒間にひずみ不整合が生じていた。したがって、 α 粒微細化と α 粒結晶方位ランダム化は粒界での局所的な応力集中の低下に有効である。

第 4 章では、CR 材と CS 材の破断試料を用い、疲労破面および内部疲労き裂発生点の詳細な観察および結晶方位解析を行い、内部き裂形成機構について検討した。内部疲労き裂発生点はいずれもファセットまたはその集合体で構成されており、各ファセットの形状とサイズは α 粒に対応した。CR 材では、293 K と 77 K とともに $\{0001\}$ 粒内割れと同定された。CS 材における内部疲労き裂発生点は、293 K では $\{0001\}$ 粒内割れによるファセット集合体を形成したが、77 K では $\{10\bar{1}0\}$ 粒内割れによるファセット集合体が支配的であった。いずれの場合も、内部疲労き裂発生点は試験片表面の極近傍に位置し、最表面側には $\{0001\}$ ファセットが検出され、微小き裂の成長過程において $\{10\bar{1}0\}$ ファセットが形成された。3 軸応力場の形成により、せん断応力によるすべり集中が $\{10\bar{1}0\}$ に生じ、繊維集合組織にともなう微小き裂成長の伝搬が生じたと結論づけられる。そのため、77 K では CS 材の疲労強度の向上は得られなかったのは、応力軸と垂直な $\{10\bar{1}0\}$ ファセット集合体の形成に起因している。

第 5 章では、疲労き裂伝播面直下に存在する微小き裂の形成について解析し、微小き裂発生機構のモデル化を行った。CR 材では、微小き裂が β 粒界、 α 粒内、 α/β 界面および $\{0001\}$ ねじり粒界で観察された。 β 粒と再結晶 α 粒間のひずみ不整合により、微小き裂が β 粒界で形成され、微小き裂の周りに応力集中が生じたと考えられる。そして、この応力集中の再分配と外力とにより、 $\{0001\}$ 面に対して垂直応力とせん断応力の組み合わせ応力が作用し、 $\{0001\}$ 微小き裂が再結晶 α 粒内に形成したと結論づけた。また、 $\{0001\}$ 面上には外力のせん断応力成分により、 $\{0001\}$ 微小き裂が回復 α 粒内に成長した。CS 材では、多数の微小き裂が β 粒界で観察されたが、これらの微小き裂が α 粒内に進展せずに停留した。その原因は、集合組織の影響により、 $\{0001\}$ 面に対して外力の引張成分とせん断成分が非常に小さい。77 K では、試験片表面の極近傍においてのみ $\{0001\}$ 微小き裂が形成するが、 $\{0001\}$ 面上微小き裂の成長が難しく、3 軸応力場の形成に伴う微小き裂は応力軸にほぼ垂直な $\{10\bar{1}0\}$ 面上に進展した。77 K と 293 K における変形モードの制約が内部き裂発生形成に影響している。

第 6 章では、本論文での各章で得られた成果を総括して述べた。 α 粒の等軸微細化と結晶方位ランダム化は応力集中の低減により疲労強度向上に有効であるが、微細集合組織、 $\{0001\}$ および $\{10\bar{1}0\}$ の α 粒配向は、微小き裂形成に対する抵抗を低めるので、考慮が必要である。

以上のように、本論文は内部疲労き裂発生点と破面直下の二次き裂、疲労変形組織につい

て解析を行い、微小き裂形成と初期き裂成長過程から内部き裂発生機構を導くことに成功した学術的価値は高い。そして、本論文の内容は、集合組織および微視的集合組織と疲労き裂形成との関係を明確に示しており、内部疲労き裂発生にともなう疲労強度低下の課題解決を図る工学的実用に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位論文として十分な価値がある。