

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 殷 良伟

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 理工博甲第32号

学位授与年月日 令和4年3月24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 理工学府・機械・材料・海洋系工学専攻

学位論文題目 Micromechanical study of cold dwell fatigue in titanium alloys

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	教授	長谷川 誠
		横浜国立大学	准教授	大野 直子

論文及び審査結果の要旨

提出された学位論文の内容、学位論文を構成する査読付き投稿論文、学位論文発表会での発表ならびに質疑応答についての審査を行った。本論文は、チタン合金の室温 Dwell 疲労について、実験および計算手法を駆使して微視的変形機構を明らかとし、応力再分配や Dwell 疲労破壊の観点から合金開発と航空機エンジン部品設計との橋渡しを示すなど、その学術的価値が高い。そして、工学的実用にも大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値がある。したがって、提出論文は学術的に十分価値のある内容を有しており合格と判定した。なお、著作権保護への配慮は十分であることを確認した。次に、学位論文に関連する分野の科目について博士(工学)の学位を得るにふさわしい学力を有するかについて審査し、合格と判定した。外国語については、国際英文雑誌への投稿があることから十分な学力を有すると判定した。博士課程後期修了に必要な単位は取得済みであることを確認した。以上により、審査委員全員一致して最終試験は合格であると判定した。

本論文は、 α 型および $\alpha+\beta$ 型チタン合金の室温 Dwell 疲労感受性に影響する微視的変形機

構を理解するため、実験および計算手法を用いて系統的な検討を行った一連の研究成果をまとめたものである。論文は全7章で構成される。

第1章では、航空産業用途に開発されたチタン合金とその適用事例、チタン合金の金属組織学的特徴、加工熱処理と微視組織制御、チタン合金の弾塑性挙動と航空機エンジン部品に負荷される Dwell 疲労による寿命低下について概説し、本研究の目的と構成を示す。

第2章では、チタン合金の Dwell 疲労に係わる従来研究の整理を行った。すなわち、金属組織学的因子、合金組成、微視組織、塑性変形モード、荷重条件、試験温度、Dwell 時間、応力状態についてである。それを踏まえ、変形双晶、微細構造の形態、温度感受性の3点について詳しく検討することとした。

第3章では、転位機構に基づくひずみ勾配結晶塑性 (CPFE) モデルを新たに開発した。変形双晶と熱膨張の因子を組み込むことで様々なチタン合金に適用でき、変形速度、微視組織の不均一、結晶粒サイズ依存性を明らかにした。

第4章では、Dwell 疲労過程におけるデジタル画像相関 (DIC) ひずみ測定値と結晶塑性モデルとを比較し、変形双晶の役割を評価した。実験および計算手法による予測において、本質的な一致が認められた。Dwell ひずみの局在化は、結晶方位により加重平均した Schmid 因子で記述される変形双晶よりも、すべり変形、すなわち、柱面すべり、底面すべり、錐面すべりの順に支配された。Soft (すべり変形容易) 粒では双晶せん断力が小さいため、Dwell 疲労初期段階における変形双晶の核生成は困難である。一方、Hard (すべり変形困難) 粒では、Dwell 時間中に Hard 粒と Soft 粒との界面で局所的な応力緩和が可能であり、双晶発生は Hard 粒内の転位列による応力集中の影響を受けない。したがって、チタン合金の Dwell 疲労挙動に及ぼす変形双晶の影響は無視できる。

第5章では、Ti-Fe-O 合金等軸組織材を用い、粒界β相がファセット (Dwell 疲労破壊起点) 発生に及ぼす影響を明らかにし、モデルの適用を二相チタン合金に拡張した。β相はα相よりも硬く、Dwell 時間中にα/β界面への転位堆積を誘発する可能性があり、CPFE モデリングで再現した。特に、α/β界面が不整合で、βラス厚が大きい場合には、Hard 粒と Soft 粒との組み合わせにおける応力再配分の抑制を予測した。これは、「Ti624x 合金」問題を理解する上で有益である。β相の分配応力が増大すると、β相でのキャビティ核生成・合体と Hard-□粒でのファセット形成という2つの Dwell 疲労破壊モードの競合が生じやすくなる。

第6章では、工学的な観点から航空機エンジン用ファンディスクの Dwell 疲労感度を理解するために、Ti-6Al-4V 合金の結晶粒スケールのひずみ速度感度とクリープ機構に及ぼす温度の影響について明らかにした。Soft-αチタン単結晶のひずみ速度感受性と温度との関係を解析的に示すために、すべり変形速度依存パラメータを導入した。ひずみ速度感度の温

度による変化は、**Hard** 粒と **Soft** 粒の組み合わせの中で発生する応力再配分に影響を与え、それが **Dwell** 疲労感度に影響する。さらに、**Ti-6Al-4V** ファンディスクの構造解析では、離陸時と巡航時の応力場を取得して、使用中の応力再配分を調べた。**Soft** 粒からなる **Macrozone**（集合組織領域）の実用温度での公正な速度感度ではなく、非常に局所化した **Hoop** 応力とファンディスクのボアにある大きな **Macrozone** の存在が、**Hard** 粒からなる **Macrozone** 中での底面垂直応力の増大と **Dwell** ファセットの核生成を引き起こす原因である。

第 7 章では、各章で得られた研究成果を総括し、今後の研究課題について言及した。