

氏 名	すみ かわ たか し 澄 川 貴 志
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2149 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 機 械 物 理 工 学 専 攻
学位論文題目	金属材料の高サイクル疲労における粒界近傍すべり挙動の力学的研究

論文調査委員 (主 査) 教授 北 村 隆 行 教授 落 合 庄 治 郎 教授 小 寺 秀 俊

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、金属材料の高サイクル疲労下における粒界近傍に特有なすべり挙動の発生条件を明らかにすることを目的として、検討項目ごとに目標に応じた試験片を作製して実験を実施するとともに、力学的解析を行った結果をまとめたものであって、6章からなっている。

第1章は緒論であり、疲労変形下におけるすべり変形挙動や結晶粒界の影響について整理し、本研究の目的と位置づけについて述べている。

第2章では、 γ 相に比べて α 相の降伏応力が大きい二相(α/γ)ステンレス鋼双結晶試験片を用いて高サイクル疲労試験と有限要素法(FEM: Finite Element Method)解析を行っている。この試験片は、 γ 相のみにすべりが発生するため、現象を単純化することができ、力学的解析との比較が容易である特徴を有している。とくに、荷重方向に対する界面の配置が異なる横断界面試験片と縦界面試験片を作製・使用した。横断界面試験片は、結晶粒が荷重方向に対して直列に配置されているため、両結晶粒は等応力変形を行い、すべり変形は界面に沿って発生する。縦界面試験片は、界面が荷重方向に対して平行に配置されているため、界面と交差するすべり面が優先的に活動する。詳細な表面観察と応力解析により、界面近傍における特有なすべり挙動は隣接結晶粒の変形拘束による特定すべり系の分解せん断応力の上昇に起因するものであり、そのすべり発生条件は単結晶の臨界分解せん断応力に規定されていることを示した。

第3章では、高サイクル疲労下において、固執すべり帯(PSB: Persistent Slip Band)の優先的な発生起点となることが知られている双晶境界を有する銅双結晶試験片を用いて高サイクル疲労試験とFEM解析を行っている。双晶境界近傍において双晶境界と平行なPSBが発生し、その位置は高せん断応力領域と対応することを示した。また、双晶境界近傍におけるPSBの優先的形成は、隣接結晶粒の変形拘束に起因した応力集中によるものであり、二次すべり系の活動と単結晶において得られているPSB発生条件を考慮に入れることによって、その形成挙動を記述できることを明らかにした。

第4章では、数十個の結晶粒によって構成されている銅少数結晶試験片を用いて高サイクル疲労試験と応力解析を行っている。銅少数結晶試験片は、多結晶体を念頭に置いて、個々の結晶粒の変形拘束が双結晶に比べて強固・複雑になった場合のすべり挙動と局所応力場との対応を明らかにすることを目的としたものである。試験片ゲージ部表面の結晶粒形状や結晶方位をすべて方位像顕微鏡によって特定した後に、高サイクル疲労試験を行っているところに本試験の特徴がある。高サイクル疲労試験では、PSBは結晶粒界近傍領域に集中して発生した。ただし、表面のみしか結晶方位解析を行うことができなかったことから、試験片表面に注目した二次元結晶粒のFEM解析を行った。PSB形成地点では、特定すべり系の分解せん断応力の値が大きく上昇しており、PSBの活動すべり面と対応する。結晶粒が強い拘束を受ける場合においても、粒界近傍で発生する特有なすべり挙動は、隣接結晶粒の変形拘束によるせん断応力の上昇と密接な関係があることを示した。

第5章では、少数結晶試験片において準微視的な要素により生じる複雑な応力場を明らかにすることを目的として、少数結晶試験片に含まれるすべての結晶粒の形状を特定し、FEM解析を行っている。疲労試験後に試験片内部を含む結晶粒形

状と結晶方位を特定し、試験片の結晶学的特徴を明らかにして、その応力を FEM 解析によって明らかにした。応力解析の結果と高サイクル疲労下でのすべり挙動は良好に対応し、粒界近傍の PSB 発生が局所の分解せん断応力に支配されていることを解明した。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、金属材料の高サイクル疲労において粒界近傍に発生する特有なすべり挙動の要因を系統的に解明することを目的として、実験と解析を行った成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- (1)すべりの力学的特徴を観察することが容易な両相の降伏応力が異なる二相 (α/γ) ステンレス鋼双結晶を作製した。それを用いて高サイクル疲労試験と有限要素法による応力解析を行った。粒界近傍に特有なすべりの発生は、隣接結晶粒の変形拘束による特定すべり系の分解せん断応力の上昇に起因しており、その発生条件は単結晶の臨界分解せん断応力に規定されていることを明らかにした。
- (2)双晶境界近傍では、優先的に固執すべり帯が形成されやすい。その原因について検討するため、双晶境界を有する双結晶を作製し、高サイクル疲労試験と応力解析を行った。その優先的固執すべり帯形成は、隣接結晶粒の変形拘束を考慮することによって説明できることを示した。
- (3)ゲージ部表面における結晶学的特徴を特定した銅少数結晶試験片を作製し、高サイクル疲労試験と応力解析を行った。複雑な変形拘束が発生する多結晶体でも、粒界近傍のすべり挙動は分解せん断応力と密接な関係があることを明らかにした。
- (4)試験片内部を含む銅少数結晶試験片におけるすべての結晶学的情報を同定し、それに基づいた三次元有限要素法解析を行い、結晶粒間の複雑な変形拘束によって生じる応力場を明らかにした。これにより、すべり条件を明確にするとともに、応力集中によってすべりが生じやすい領域を特定した。

以上、本論文は、目的に応じた試験材料を作製して高サイクル疲労実験を行うとともに、その詳細な力学的解析を行い、微視的要因により生じる粒界近傍の応力場と局所的なすべり特性の関係を解明したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年2月27日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。