

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	温度と時間に依存したNi基超合金の疲労き裂進展
Title(English)	Temperature and Time Dependent Fatigue Crack Propagation in Ni-base Superalloys
著者(和文)	鈴木子游
Author(English)	Shiyu Suzuki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11737号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:阪口 基己,轟 章,水谷 義弘,因幡 和晃,井上 裕嗣
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11737号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	鈴木 子游	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	阪口 基己	准教授	井上 裕嗣	教授
	審査員	轟 章	教授		
		水谷 義弘	准教授		
因幡 和晃		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Temperature and Time Dependent Fatigue Crack Propagation in Ni-base Superalloys」と題し、全5章で構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景と目的を論じている。まず、ジェットエンジンや発電用ガスタービンが担う社会的な役割を概説するとともに、特に過酷な環境に曝されるタービン動静翼に用いられる鑄造 Ni 基超合金について、その開発の歴史と特徴について詳述している。つぎに、タービン運用中に生じる超合金部材の破損の実例について説明し、最近のガスタービンでは起動・停止時に生じる熱応力が大きく、この熱応力の繰返しによる熱疲労破壊が破損の主要因になっていることを指摘している。続いて、鑄造 Ni 基超合金の疲労破壊に対するこれまでの研究を総括し、超合金の疲労き裂進展挙動は、結晶粒の方位や結晶粒界、温度に依存したすべり変形挙動、時間に依存した酸化やクリープ変形などの複数の因子が複雑に絡み合うため、その理解はまだ途上にあることを指摘している。そこで、鑄造 Ni 基超合金の単結晶材と多結晶材に対する疲労き裂進展試験によって、き裂進展挙動に与える結晶方位、結晶粒界、温度、酸化やクリープなどの時間依存現象の影響を明らかにすること、その知見を用いて疲労き裂進展抵抗に優れたタービン翼の設計指針を提案することを本論文の目的として定めている。

第2章「Effects of Crystal Orientation and Temperature in Single Crystal Superalloy」では、単結晶材の疲労き裂進展挙動に与える温度と結晶方位の影響を検討している。具体的には、Ni 基超合金単結晶材 ICMSX-4 から結晶方位が異なる4種類の試験片を作製し、室温、450°C、700°C、900°Cで疲労き裂進展試験を行っている。その結果、室温ではき裂は結晶学的なすべり面に沿うせん断型で進展すること、450°Cと700°Cでは非結晶学的な開口型からせん断型へ遷移すること、900°Cでは開口型で進展することを明らかにしている。また、せん断型も開口型もき裂進展速度は結晶方位に依存し、室温でのせん断型き裂進展速度が大きな試験片ほど450°Cと700°Cでの進展形態の遷移が起きやすいこと、開口型のき裂進展速度は負荷方向の結晶方位に強く依存することも明らかにしている。

第3章「Effect of Grain Boundary in Polycrystalline Superalloy」では、多結晶材の疲労き裂進展挙動に与える温度と結晶粒界の影響を検討している。具体的には、一方向凝固材 MGA1400 の鑄造方向に垂直な面から二次元的な結晶粒分布を持つ試験片を作製し、室温、700°C、900°Cで疲労き裂進展試験を行っている。その結果、結晶粒内の疲労き裂進展挙動は第2章の単結晶材と同様の温度依存性と結晶方位依存性を示すこと、せん断型のき裂が結晶粒界近傍を進展する際にはき裂の遅延が生じることを明らかにし、この遅延挙動は粒界でのすべり面の不連続性に起因した開口型への局所的な遷移によるものと推察している。また、900°Cでは、隣接する2つの結晶粒の方位差が15度より大きい場合にはその粒界に沿ってき裂が大きな速度で進展すること、方位差が大きいほど加速の度合いが大きくなることも明らかにしている。

第4章「Effect of Creep Deformation in Single Crystal Superalloy」では、単結晶材の疲労き裂進展挙動に与えるクリープ変形の影響を検討している。具体的には、純粋な疲労負荷中に単発の負荷保持を導入したクリープ疲労き裂進展試験を700°Cと900°Cで行い、保持中の負荷レベルと保持時間の影響を検討している。その結果、負荷保持後に疲労負荷を再開すると新生き裂が速やかに発生したのち、疲労き裂進展速度が大きく低下すること、この遅延の程度は温度と負荷レベル、保持時間、試験片の結晶方位に依存することを明らかにしている。さら

に、デジタル画像相関法の測定値を利用した有限要素解析によって負荷保持中の応力ひずみ分布の時間変化を計算し、クリープによる応力緩和によってき裂先端近傍には圧縮残留応力が生じること、この圧縮残留応力を加味して有効応力拡大係数範囲を求めることで負荷保持後の遅延挙動を定量化できることを明らかにしている。

第5章「Conclusions」では、本研究の成果を総括するとともに、疲労き裂進展抵抗に優れるタービン翼の設計指針について提案し、今後の課題と解決策を論じている。

以上を要するに、本論文は、鋳造Ni基超合金の疲労き裂進展挙動を対象にし、疲労き裂進展試験によりき裂進展挙動に与える結晶方位、結晶粒界、温度、時間依存現象の影響を明確化するとともに、有限要素解析によりその実験結果を定量的に説明付けることに成功しており、工学的および工業的に貢献するところが大きい。よって、博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。