



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	放射光CTを用いたチタン合金の超高サイクル疲労に関する実験的研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	吉中, 奎貴
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13204号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69936
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Fumiyoshi_Yoshinaka_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 吉中 奎貴

審査担当者 主 査 教 授 中村 孝
副 査 教 授 佐々木 克彦
副 査 教 授 大沼 正人
副 査 准教授 高橋 航圭

学位論文題名

放射光 CT を用いたチタン合金の超高サイクル疲労に関する実験的研究

(Experimental study of very high cycle fatigue in titanium alloy using synchrotron radiation CT)

金属疲労は機械構造物の破損原因の大半を占めると言われ、この問題への対策は安全性確保の根幹をなす課題である。特に近年では、機器の高速化や使用期間の長期化に伴い、負荷繰返し数が 10^7 回程度を超える長寿命域における疲労現象、いわゆる超高サイクル疲労の問題が重要視されるようになった。超高サイクル疲労では、通常の高サイクル疲労と異なり、材料内部を起点としてき裂が発生し、静的強度から期待されるより低応力でも破壊が生じる。この特異な現象は、1980 年代後半頃から国内外で活発に検討されてきたが、材料内部に発生する数～数十 μm の微小き裂観察が極めて困難なこともあり、その破壊機構は未だに明らかにされていない。一方、近年では SPring-8 に代表される第三世代放射光施設の登場により、放射光 CT と呼ばれる高分解能非破壊観察手法が金属に対しても利用されつつある。本研究の目的は、この放射光 CT をチタン合金 Ti-6Al-4Al の超高サイクル疲労に適用し、材料内部を起点とする破壊過程を直接観察により明らかにすることにある。SPring-8 において疲労試験と CT 観察を繰返し行うことで内部き裂の発生・進展過程を明らかにするとともに、試料内部の微小な結晶粒と内部き裂の非破壊同時観察手法の開発を試みた。

本論文は 7 章からなり、各章の内容は以下のように要約される。

第 1 章では、超高サイクル疲労に関する研究状況を整理するとともに、そのメカニズムを明らかにする上で内部破壊過程の直接観察が不可欠であることを指摘し、本研究の目的を示した。

第 2 章では、内部疲労き裂の発生・進展観察に適した疲労試験条件を決定するとともに、放射光 CT における観察条件の最適化を行った。

第 3 章では、第 2 章で設定した条件の下で、内部疲労き裂の発生・進展観察を行った。その結果、内部き裂は材料内に多数発生し、これらの発生寿命には大きなばらつきがあることが示された。さらに、内部き裂の進展速度は 10^{-10} m/cycle 以下と極めて低速であることが明らかとなった。また、き裂発生寿命は短い、発生後ほとんど進展しない場合や、き裂発生寿命は長い、発生後急速に進展する場合などが観察され、内部き裂発生寿命はその後の進展挙動に影響を与えないことが示された。

第 4 章では、第 3 章で取得した内部き裂の発生寿命及び進展速度に対し考察を加えた。初めに、本供試材では結晶粒に対応するファセットと呼ばれる平坦面の形成を起点として疲労き裂が発生・進展することに着目し、すべての内部き裂について起点ファセット寸法と発生寿命・進展速度の関係を調べた。その結果、起点ファセット寸法は発生寿命や進展速度に影響を与えないことが明らかとなり、発生寿命・進展速度のばらつきは起点ファセットとその周囲の結晶粒の方位差に起因するもの

と推察した。次に、内部き裂が低速で進展した理由を明らかにするために、周囲環境に着目した検討を行った。内部き裂は大気から遮断された一種の真空環境を進展するとの仮定に基づき、 10^{-6} - 10^0 Pa の種々の真空圧力下で表面き裂の進展試験を実施し、その結果を内部き裂のそれと比較した。その結果、内部き裂の進展速度は 10^{-6} - 10^{-4} Pa 程度の特に低い真空圧力における表面き裂のものとよく一致した。このことから、内部き裂は、超高真空に近い低圧環境の影響により低速で進展することが示された。

第 5 章では、内部き裂と材料組織の同時・非破壊観察の実現に向けて、Ti-6Al-4V 内部の結晶粒の可視化に取組んだ。金属材料の疲労破壊過程は結晶粒や結晶粒界などの微視的かつ局所的な要因に著しく影響を受ける。そこで本章では、微視組織の可視化のために観察系や試験片寸法の再検討を行うとともに、これまで用いてきた X 線吸収を利用したイメージング手法に対し、位相シフトを利用した高感度撮像法である位相コントラスト法の適用を試みた。その結果、観察部寸法を 0.5 mm 程度以下に小型化した試験片に位相コントラスト法を用いることで、粒径 $10\ \mu\text{m}$ 程度の結晶粒や微小き裂を同時に観察できることを明らかにした。

第 6 章では、超高サイクル疲労における内部破壊の評価法を確立することを目的として、結像法に代表される更なる高分解能観察や内部微小き裂開閉口の実測技術などを検討し、放射光技術を本分野に援用するための展望を示した。

第 7 章は総括であり、本研究で得られた主な結果を示した。

以上のように本論文は、チタン合金の超高サイクル疲労を対象として、放射光 CT を利用することにより内部き裂の発生・進展過程を明らかにするとともに、材料内部の組織や微小き裂に対する非破壊観察技術の高度化に取組んだものであり、材料強度学分野に貢献するところ大である。よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。