

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06064

研究課題名(和文) 結晶方位解析を活用した微視損傷形成モデルの構築とその応用

研究課題名(英文) Local Damage Modeling Using Electron Back Scatter Diffraction

研究代表者

杉浦 隆次 (Sugiura, Ryuji)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：40431522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではW添加9-12%Cr鋼を対象に、き裂成長特性はき裂先端の損傷域と密接な関係があると考え、微小硬さ計測によるき裂成長経路近傍の損傷評価を実施した。さらに、硬度計測領域内において損傷にともなう微視組織構造変化をEBSD法により観察し、高温力学挙動との対応関係について考察した。その結果、W添加高Cr鋼のクリープ・疲労損傷においては、広範囲に損傷が形成するクリープ効果とき裂成長経路近傍に局所的高損傷度をもたらす疲労効果が複合的に作用し、広範囲に高度の損傷を形成することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が提案する方法は、ミクロ構造のデジタル解析技術を走査型電子顕微鏡(SEM)観察へ応用したものであり、透過型電子顕微鏡(TEM)に比べて簡便に観察を実施できることが特徴である。また、TEMを構造材料へ適用する場合、その狭い限られた範囲の評価から全体を推測する必要があるが、本研究が提案する方法は直接的な損傷評価を行うことが可能である。さらに、本申請課題の目標である「微視損傷発現機構シミュレータ」の構築は、単なる損傷の状態監視技術にとどまらず、損傷の定量的予測を行うものであり、これまでには無かった新たな価値を生み出すものと考えている。

研究成果の概要(英文)：To understand the physical mechanism of the interactive effects of creep and fatigue, it is important to clarify the damage mechanisms around the crack. In the present study, the experiments of creep-fatigue crack growth tests and the quantitative analysis of damage by measuring Vickers hardness were conducted to understand the interactive effects of creep and fatigue on the crack growth characteristic. Additionally, by observing the material microstructure using EBSD, damage mechanisms were clarified. As a result, it was found that creep effect contributes the expansion of damage region and fatigue effect increases the degree of damage. Interaction of these effects resulted in the occurrence of unstable transition region on the characteristic of creep-fatigue life.

研究分野：材料強度

キーワード：損傷評価 寿命評価

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年の一次エネルギー安定確保の観点で発電の高効率化を目指し導入された新型プラントにおいては、高い強度を有する組織強化型耐熱鋼の使用が拡大しているが、これまでに経験のない早期破断による損傷事例がボイラ配管の溶接部等で発生することが我国のみならず欧米においても報告され、世界的レベルで大きな課題となっている。このことは、当該高温強度材料は、強化組織に由来して比較的強度の劣る材料に比べて変形やクリープボイド発生等の劣化現象が表面化しにくく、従来の余寿命評価精度に課題を残していることが原因である。また、溶接継手部のように多軸応力条件下で使用される構造物については、たとえクリープ延性的性質を示す材料であってもクリープ脆性的き裂成長を示す等の報告 (R.Sugiura et al., Engng. Mater. Technol., 2009) から、多軸応力効果を考慮したクリープ変形/損傷過程を正確に理解しないと、材料の高性能化や長時間安全確保を達成することは不可能である。すなわち、溶接継手部を含めた構造物の破壊に至るまでの変化をごく初期から寿命の末期まで高精度で把握し、新しい長時間強度予測技術を確立することが強く望まれている。

2. 研究の目的

EBSD 法の結晶方位解析による「微視損傷計測原理の確立」と「長時間強度予測技術の開発」のための新しい原理は、従来の損傷計測技術では観察できなかった粒界局所的クリープ損傷の検出結果にあり、この手法をさまざまな損傷形態（高温疲労、クリープ・疲労相互作用下の損傷、高温衝撃、高温引張損傷、多軸応力場）へと応用することにより精緻化される高温微視損傷形成モデルの構築に起因する。本申請課題ではまず、[1]で実験による損傷の実現象の把握に EBSD 解析を援用しつつ、微視損傷を同定する物理パラメータの抽出を行う。この結果を用いて、[2]の微視損傷形成モデルの基盤を構築する。さらに、[2]で構築されたシミュレータによる結果の妥当性と実構造物への適用性を明らかにするために、[3]の多軸応力場試験を実施し、実機で問題となっている高温構造脆性のメカニズム解明を行う。

[1] EBSD 法から得られる結晶方位変化の物理的意味：高温“その場”損傷観察実験により極初期から寿命末期までの損傷の連続追従観察とその高温力学特性の把握を行い、EBSD 解析から得られる指標との比較から損傷同定指標の検討とその物理的意味を明らかにする。

[2]微視損傷形成モデルの基盤構築：[1]で得られた指標を用いて、さまざまな損傷形態（高温疲労、クリープと疲労の相互作用下の損傷、高温衝撃、高温引張損傷）との定量的関係性を明らかにし、種々の損傷発現条件を満たす力学条件を特定するためのシミュレータを構築する。

[3]多軸応力場試験による力学因子の構造脆性機構への影響解明：

高温構造健全性を支配する溶接部の損傷発現機構を明らかにすることは、本技術の実機高温構造物への適用可能性を実証することになると考えている。そこで溶接継手材を用いた高温クリープ・疲労試験を実施し、多軸応力下で発現する TypeIV損傷をターゲットとしたミクロレベルでの損傷の定量的把握とその脆化機構を解明する。

3. 研究の方法

初年度は、「In-Situ（その場）損傷観察試験機」を柱に、新たな In-Situ 観察システム（設備品として申請）を導入して高度化を図り、極初期から寿命末期に至る損傷の連続追従観察と高温力学特性を把握した。また、EBSD 解析から得られる結晶方位差指標との比較から損傷同定指標の検討を行った。次年度では、初年度で検討された損傷評価指標を用いて、さまざまな損傷形態との定量的関係性と、評価指標の普遍性およびその適用範囲を明らかにするための検証実験を実施した。さらに損傷同定指標から、転位の導入や高温拡散の結果として生じる結晶粒の格子

回転を明らかにし、この特異な挙動を組み込んだ結晶粒異方性シミュレータを構築した。最終年度ではこれらの過程と結果から、高温微視損傷形成モデルの構築とその応用として、高温構造健全性を支配する多軸応力場での局所的微視損傷発現機構の解明を試みた。

4. 研究成果

EBSD 解析から得られた IPF マップと KAM (Kernel Average Misorientation) マップの一例を Figs. 1-2 に示す。KAM マップは EBSD 解析における隣接解析点間の結晶方位差であり、図中には $0 \sim 5^\circ$ の範囲の結晶方位差程度を色別で表示した。赤色に近いほど方位差が大きいことを示している。

Figs. 1-2 に示すようにいずれの条件（クリープと疲労条件）においても、硬度計測から明らかとなった損傷領域とそれ以外の領域（非損傷領域）では KAM 値の分布形態が異なることがわかった。また、解析領域から計算される平均 KAM 値は損傷領域内で特に低くなることがわかった。

また、疲労条件の硬度計測から推測される損傷領域はクリープとクリープ・疲労条件とは異なるが、KAM 値に影響を及ぼすほどではなかったと考えられる。これは、W 添加 9%Cr 鋼に比べて W 添加 12%Cr 鋼の結晶粒径が大きいことにより、転位密度の減少に関係する移動距離が長いことから、高転位密度を維持することができるためと考えられる。

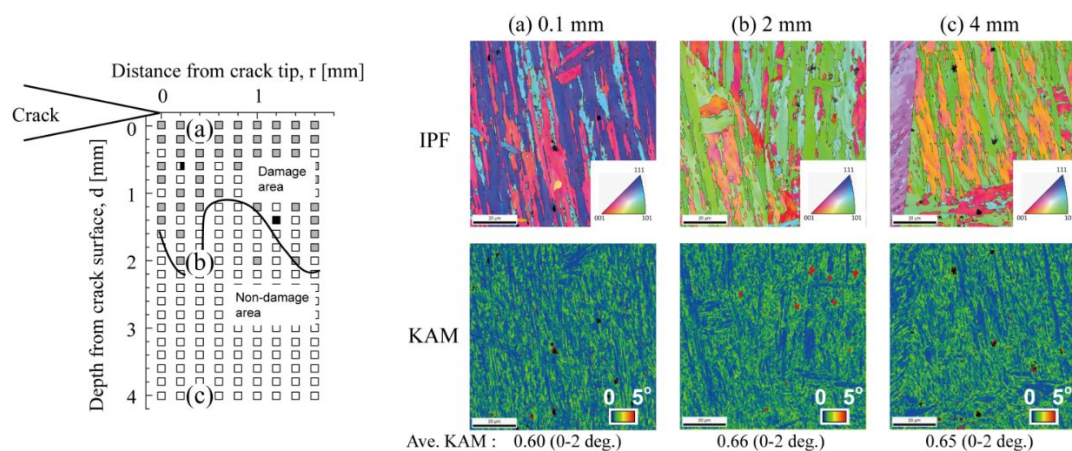


Fig.1 Inverse pole figure and Kernel average misorientation maps of W-added 12%Cr under creep condition.

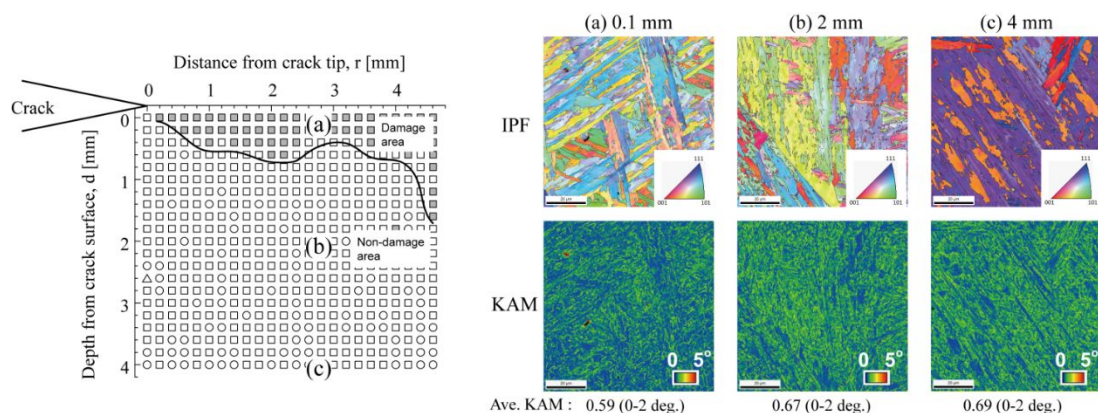


Fig. 2 Inverse pole figure and Kernel average misorientation maps of W-added 12%Cr steel under fatigue condition.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----