

氏名	た だ 直 哉 多 田 直 哉
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1266 号
学位授与の日付	平 成 5 年 1 月 23 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 物 理 工 学 専 攻
学位論文題目	304ステンレス鋼のクリープ疲労微小き裂の発生と伝ば

論文調査委員 (主 査) 教授 大谷隆一 教授 三浦 精 教授 井上達雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、代表的な高温用構造材料である304ステンレス鋼について、クリープ疲労条件下で表面に多数発生かつ伝ばする粒界微小き裂を観察し、その結果を体系的にまとめるとともに、微小き裂の発生・伝ばに関するモデルおよび数値シミュレーション方法を提案して、観察結果に定量的な検討を加えたものであって、緒論、観察結果、数値シミュレーション、結論の4つの章から構成されている。

第1章「緒論」では、本論文の主題であるクリープ疲労破壊に関してこれまでの研究を振り返り、従来の代表的な解析手法の特徴と問題点をまとめ、本論文の意義と目的について述べている。

第2章「クリープ疲労微小き裂に関する実験結果」では、304ステンレス鋼で作製した平滑試験片の表面に多数発生・伝ばするクリープ疲労微小き裂を種々の実験条件（数種のひずみ波形、大気・真空両雰囲気中、異なるひずみ範囲）において観察・測定し、クリープ疲労破壊のプロセスを解明した。特に、材料微視組織の影響を受けて確率的性質を示す微小き裂の発生挙動をき裂密度（単位表面積当りのき裂個数）、伝ば挙動をき裂伝ば速度（単位繰返し数当りのき裂伝ば量）を用いて定量評価し、異なる実験条件間で比較・検討している。また、微小き裂の伝ば挙動と、従来から破壊力学を用いて研究されている巨視き裂の伝ば挙動との関係についても考察している。

第3章「クリープ疲労微小き裂に関する数値シミュレーション」では、第2章の微小き裂の観測結果に基づき、粒界破壊抵抗分布モデルを構築し、それを用いてき裂の発生・伝ば・合体挙動の数値シミュレーションを行っている。本モデルは、粒界ファセット毎に材料値として異なる値（一様乱数）で代表される破壊抵抗値を有するものとし、負荷に対応するき裂発生駆動力とき裂伝ば駆動力によって各破壊抵抗値が次第に減少し、ついには破壊が生じるあるいは進展するとするものであって、これを連続的に数値計算することによってき裂発生・伝ばのモンテカルロ・シミュレーションを行っている。シミュレーションにおいてもき裂密度およびき裂伝ば速度の分布に関して統計的に実験と一致する結果を得ている。特に、3次元のシミュレーションでは、多数のき裂が結晶粒界単位に発生し、粒界3重点にて屈曲しながら伝ばする

様子がビジュアルに再現されている。また、本数値シミュレーションを逆問題解析手法の一つとして用いることにより、破壊プロセスの分類も行っている。この分類手法によって、実験条件に大きく依存するクリープ疲労破壊過程をき裂発生とき裂伝ばのどちらの因子によって支配されるかが定量的に明確にされている。さらに、本章の最後では、実機への適用例として本シミュレーションを用いた余寿命診断法を提案している。これは、世界的に今後益々要求が高まるとみられている既設発電プラントの信頼性評価並びに寿命延命対策に大きく貢献するものである。

第4章「結論」では、第2、3章で得られた結果を総括するとともに、本研究によって提起された研究課題を挙げている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、クリープと疲労の重畳条件下において、代表的な耐熱鋼である304ステンレス鋼の試験片表面に次々と発生し、伝ばする微小き裂の確率的挙動を実験的・解析的に考察することにより、クリープ疲労破壊のプロセスを体系的に解明した研究成果を取りまとめたものである。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 種々の実験条件下にてクリープ疲労を受けた304ステンレス鋼の試験片表面に発生するき裂に関して詳細な観察・測定を行い、その発生、伝ば挙動をき裂密度の増加速度やき裂伝ば速度によって定量的に評価し、実験条件間の破壊挙動や破損寿命の相違を微小き裂の挙動の相違で説明している。これより、従来、最終の破損寿命のみで評価されてきたクリープ疲労破壊を、破壊の経時的変化としてのき裂の発生・成長に着目し、破壊のプロセスを連続的に解析することに成功している。
- (2) 微小き裂の観察結果に基づいて、「粒界破壊抵抗分布モデル」を提案し、それを用いて数値シミュレーションを実施している。すなわち、微小き裂の発生・伝ばに関する確率的挙動を粒界毎に異なるランダムな破壊抵抗値を与えることで表現し、負荷に対応する駆動力によって破壊抵抗値が次第に減少し、ついには粒界ファセット破壊が生じるとする、モンテカルロ法と損傷力学を組み合わせたモデルと数値計算法を提案しており、これによって複雑な微小き裂の挙動が良好に模擬できることを示している。
- (3) 本シミュレーションは、種々の実験条件下のクリープ疲労破壊が模擬できるだけでなく、逆解析的に用いて破壊プロセスを特徴づけ、負荷条件の相違によってき裂発生主体型やき裂伝ば主体型に分類できることを示している。

以上要するに、本論文は、多結晶耐熱合金のクリープ疲労破壊に関してはじめて微小き裂の詳細な観測を行い、モンテカルロ・シミュレーションによってき裂の確率のおよび力学的性質を明らかにしたものであって、学術上、實際上寄与するところが大きい。よって、京都大学博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成4年11月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問をした結果、合格と認めた。