

# 論文内容要旨 (和文)

平成 16 年度入学 大学院博士後期課程 物質生産工学専攻 エネルギー環境工学講座

学生番号 04522202

氏名 加藤 和憲



論文題目 熱物性計測による工業材料の疲労劣化診断技術に関する研究

本論文は疲労劣化により生ずる工業部材表面近傍の微細な材質変化を熱物性計測により検出し、その結果と疲労寿命との相関関係を明らかにし、その成果を用いて材料の現位置非破壊診断技術を提案する。様々な分野で疲労劣化に起因する事故が絶えないことから金属材料を主たる診断対象と位置づけ、その診断理論を構築し実験的な検証を行い新たな診断技術を開発する。

本研究は、熱物性計測技術を用いて金属材料などの疲労劣化初期段階に適用可能な現位置計測技術を開発したものである。すなわち、これまでの診断技術は疲労劣化初期の微視き裂検出が不可能であり、顕微鏡観察レベルの微視き裂が検出可能な診断技術は、専用の試験片を製作する必要があるため、製品そのものの劣化診断には不適當である。したがって、熱物性計測技術を用いることによって疲労劣化初期段階から診断を可能とする新技術の開発はきわめて有意義である。

き裂と熱伝導率に関する既存の研究は、き裂が一様に分散する材料を取り扱うものがほとんどであり、疲労劣化初期段階に形成される材料表面の微視き裂や、その中の幾つかのき裂が疲労後半で巨視的き裂へ成長するという破壊力学の知見を活用した研究は未だ存在しない。そこで、本研究では疲労劣化初期段階の微視き裂に着目し、その検出理論を構築する。微視き裂の検出には点接触式熱物性計測法が有効であり、表面微視き裂の存在が温度応答測定データに影響を与えることを利用して劣化度評価因子  $\alpha$  を導出した。理論温度応答解析の結果、疲労劣化による  $\alpha$  の変化および算出される見かけの熱伝導率  $\lambda_s$  の変化は十分に大きく劣化診断に適切な因子であることを明らかにした。

劣化の初期段階から診断を開始するために点接触式計測法の測定精度向上の必要があり、温度応答解析方法の改良により精度向上を図った。つまり、熱物性値算出時に用いる温度応答近似式を 1 次式から多項式と変更し測定精度の向上が確認された。また、温度プローブの接触感知を機械式スイッチからソフトウェア方式に変更することによって精度良く接触開始点を見積もることができた。

劣化診断理論検証のために各種金属を用いて疲労実験途中における熱物性値の変化を計測し、寿命との関係を明らかにした。疲労を伴わないレベルの引張試験では熱物性値の変化が生じないことが判明し、繰返し応力による疲労劣化との峻別が可能であることが分かった。イオン窒化表面硬化層を持つ試験片の回転曲げ疲労試験の結果、劣化度評価因子および熱伝導率の変化が検出された。疲労試験後の試験片断面観察の結果、硬化層にき裂が生じ破壊寸前であることが確認された。したがって、硬化層を持つ材料に対しても本研究の診断法は有効であることが確認された。また、S45C 焼鈍の試験片を用いて疲労試験を行った結果、顕微鏡観察レベルの微視き裂が確認される以前の結晶粒界への転位集積に起因する  $\lambda_s$ 、 $\alpha$  の変化が確認された。さらに、材料表面観察および疲労試験途中の熱物性値の計測から疲労段

階ごとの $\lambda$ 、 $\alpha$ の変化が得られ、寿命との相関関係が明らかとなった。これらの成果により、熱物性計測による新たな疲労劣化診断技術を提案するものである。

本論文の概要は以下のとおりである。

第1章は本研究の背景と目的と概要について述べた。

第2章はき裂が分散している材料の熱物性値、疲労試験と物性値に関する既存の研究について調査した。繰返し応力下の金属材料では表面に微視き裂が形成され、その中のいくつかは巨視的なき裂へ成長するという挙動を活用した診断方法は未だ無く、独創的な技術であると言える。

第3章は前章の破壊力学の知見を活用して、疲労劣化初期段階の微視き裂を熱物性計測により検出する理論を展開した。すなわち、劣化部位の熱伝導機構をモデル化し、点接触式熱物性計測法により劣化度を評価する因子 $\alpha$ に着目することを提案した。

第4章は疲労劣化初期段階から診断を可能にするために点接触式計測法の測定精度向上を図った。温度応答の近似を1次式から多項式へ変更し近似精度を高める方法、および温度プローブの接触感知を従来の機械式スイッチでなくソフトウェア方式によれば測定精度を高められることを示し、測定精度の向上を図った。

第5章は表面硬化処理材料の疲労劣化診断の結果について述べた。イオン窒化硬化層を持つSACM645の試験片を破断直前まで疲労させて、その熱物性分布を計測し、また硬化層切断面を観察した結果、この硬化層の劣化診断が可能であることを実験的に証明した。

第6章は疲労を伴わないレベルの引張試験前後における熱伝導率の変化を計測した。S45Cの試験片の引張試験の前後における熱伝導率の変化を調べた結果、計測値に変化は生じなかった。すべりのみでは熱物性値変化を引き起こす材質変化が発生しないことが明らかとなった。熱物性計測による劣化診断技術では疲労劣化に起因して熱物性値の変化が起こり、疲労を伴わないレベルの塑性変形との判別が可能であることが分かった。

第7章は疲労試験の段階ごとに熱物性計測を行い、疲労に伴う熱物性値の変化を求めた。高サイクルおよび低サイクル疲労試験を行い、その途中および前後における熱物性計測と試験片表面観察を行った。その結果、疲労寿命と熱物性値に関する相関関係が明らかになり、本研究の方法が非破壊疲労劣化診断に有効であることが確認された。

第8章は総括である。本論文のまとめとして、以上の研究で得られた成果について列挙した。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成20年 1月30日

理工学研究科長 殿

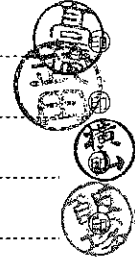
課程博士論文審査委員会

主査 高橋 一郎

副査 武田 武信

副査 横山 孝男

副査 飯塚 博



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 物質生産工学 専攻  
氏名 加藤 和憲

2. 論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記すること。)

熱物性計測による工業材料の疲労劣化診断技術に関する研究

審査年月日

論文審査 平成20年 1月22日 ~ 平成20年 1月30日

論文公聴会 平成20年 1月30日

場所 山形大学工学部5号館301教室

最終試験 平成20年 1月30日

3. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 最終試験 合格

4. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

5. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	物質生産工学	氏名	加藤 和憲
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は、疲労劣化により生ずる工業部材表面近傍の微細な材質変化を熱物性の現位置局所計測法により検出する方法を提案し、それによる疲労寿命試験測定結果との相関関係を明らかにしており、特に金属材料の現位置非破壊診断法の新しい技術を開発したものである。</p> <p>本論文は次の8章から構成されている。すなわち、</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的を列挙し問題点を議論している。</p> <p>第2章では、き裂が分散している材料の熱物性値、疲労試験と物性値に関する既存の研究について調査している。</p> <p>第3章では前章の破壊力学の知見を活用して、疲労初期段階の微視き裂を熱物性（主として熱伝導率）計測により検出する理論を展開している。劣化部位の熱伝導機構をモデル化し、点接触式熱物性計測法により劣化度を評価する因子<math>\alpha</math>に着目することを提案した。</p> <p>第4章では疲労初期段階から診断を可能にするために点接触式計測法の測定精度向上を図った。</p> <p>第5章では表面硬化処理材料の疲労劣化診断の結果について述べている。イオン窒化硬化層を持つ SACM645 の試験片を破断直前まで疲労させて、その熱物性分布を計測し、また硬化層切断面を観察した結果、この硬化層の劣化診断が可能であることを実験的に証明した。</p> <p>第6章では疲労を伴わないレベルの引張試験前後における熱伝導率の変化を計測した。S45C の試験片の引張試験の前後における熱伝導率の変化を調べた結果、塑性変形のみでは熱物性値変化を引き起こすような材質変化は発生しないことが明らかとなった。</p> <p>第7章では、疲労試験の段階ごとに熱物性のその場測定を行い、疲労に伴う熱物性値の変化を求めた。高サイクルおよび低サイクル疲労試験を行い、その途中および前後における熱物性計測と試験片表面観察を行った。その結果、疲労寿命と熱物性値に関する相関関係が明らかになり、本研究の方法が非破壊疲労劣化診断に有効であることを確認している。</p> <p>第8章は総括であり、本論文のまとめとして研究成果について列挙し、今後の進展に触れている。以上の研究成果は、主として以下の各論文に掲載されている。</p> <p>(1) 加藤和憲, 高橋一郎, 熱物性計測による工業材料の劣化診断技術に関する研究, 熱物性, Vol.21, No.1 (2007), pp.25-30.  (再録) Kazunori Kato, Ichiro Takahashi, Diagnostic Technique for Degradation of Engineering Materials by Measurement of Thermophysical Properties, <i>Heat Transfer Asian Research</i>, Vol.36, No.8 (2007), pp.501-512.</p> <p>(2) Kazunori Kato, Ichiro Takahashi, Diagnostic Technique for Degradation of Engineering Materials through Measurement Using a Thermophysical Handy Tester, Proceedings of The 8th Asian Thermophysical Properties Conference(ATPC2007) p.190, August (2007) Fukuoka  (再録) Kazunori Kato, Ichiro Takahashi, Diagnostic Technique for Degradation of Engineering Materials through Measurement Using a Thermophysical Handy Tester, <i>International Journal of Thermophysics</i>, (2008年掲載予定)</p> <p>本論文は、現位置熱物性計測法による新たな疲労劣化診断技術を提案したものであり、本審査会は本論文が博士学位論文として十分であると認め合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>学位論文公聴会における質疑応答、及び個別面接質問を通じて、関連する分野における知識、理解力、問題解決能力など、博士(工学)として必要な能力並びに語学力を検査した結果、それらの能力を十分備えていると認め、合格と判定した。</p>			