

(様式 2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 李 成

題 目 電着銅薄膜を用いた主応力測定法と組合せ応力下における金属疲労挙動に関する研究

学位論文の概要及び要旨

機械や構造物の疲労に対する安全性を評価するためには、機械要素表面の局所領域に作用する応力とその応力状態における疲労挙動を正確に把握することが必要である。本論文では、まず局所領域の応力測定に適している銅めっき応力測定法の欠点を補い、特徴を発展させる研究を行った。次に、繰返し負荷に異種の静的負荷が重畳する場合に対し、疲労き裂の進展挙動を調査した。

実験的応力解析法の一つである銅めっき応力測定法は、銅めっきを施した機械要素、あるいは電着銅薄膜を接着した機械要素が繰返し負荷を受けると、薄膜内に成長粒子が発生する現象を利用する。その粒子成長は最大せん断応力振幅 τ_{\max} に支配されるため、任意の繰返し数 N に対して成長粒子の発生密度 ρ^* を計測すれば、 τ_{\max} の検出が可能である。この測定法は、粒子の粒径が $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ であるため、局所的な領域に対する適用性に優れている。一方、本手法は以下のような問題点もある。①二軸応力比 $C (= \sigma_2 / \sigma_1)$ が正と負の両応力状態において、主応力振幅 σ_1 、 σ_2 を求める基礎式が異なるため、材料の疲労挙動を評価する上で重要な σ_1 、 σ_2 を測定するには、従来の方法では、 C の符号が判定できない。② $C < 0$ となる場合、主応力 σ_1 、 σ_2 を検出するためには、 τ_{\max} に加えて C を測定する必要がある。このため、従来の方法では、銅薄膜に円孔を作製する必要があるが、測定の簡便さや分解能の観点から十分とはいえない。

そこで本論文では、まず上述の問題点の解決を目的に以下の研究を行なった。問題①に関しては、第 2 章で、成長粒子の粒子成長方向を利用した C の符号判定方法を提案した。すなわち、 C が正と負の両場合において、 τ_{\max} がそれぞれ銅薄膜の平面内と厚さ方向に作用することから、粒子成長方向に生ずる差異を利用し、 C の符号判定を行なった。問題②に関しては、第 3 章において、粒子成長方向を用いた主応力振幅 σ_1 、 σ_2 の検出方法を提案した。すなわち、粒子成長方向より τ_{\max} の作用方向を計測し、また τ_{\max} の作用方向と主応力間の弾性学的な固有関係を用いることで主応力振幅を検出した。また、第 4 章では、EBSD (Electron back scatter diffraction) 法を用いた主応力検出手法を提案した。本手法より、成長粒子のすべり方向 $\langle 110 \rangle$ の一つが τ_{\max} の作用方向と一致することが明らかとなり、 $\langle 110 \rangle$ 方向より τ_{\max} の作用方向の検出を可能にした。また、EBSD 法は分解能が高い特徴を有することから、 $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ まで測定領域の縮小を実現し、主応力測定法の分解能を向上させた。

上述のような従来の銅めっき応力測定法の問題点を解決することで、機械要素表面に作用する主応力 σ_1 、 σ_2 の検出を可能にし、また局所領域の応力測定に適している特長を一段と発展させた。さらに、動力伝動シャフトなどによく作用する繰返し曲げ - 静的ねじり組合せ負荷などのように異種の静的応力が作用する場合に、提案した手法が適用できるか検討を加えた。第 5 章では、回転曲げ - 静的ねじり組合せ負荷における成長粒子の発生状況について調査した。その結果、異種の静的負荷の重畳は成長粒子の発生および成長過程に影響しないことが明らかとなった。したがって、銅めっき応力測定法はこのような負荷においても疲労損傷に主に寄与する繰返し応力成分を正確に検出できることが明らかになった。最後に、第 6 章では、繰返し曲げと静的ねじりが重畳する平板に発生した表面き裂の進展挙動について調査した。その結果、静的ねじり負荷の重畳はき裂開口変位 COD の増加を引き起こし、き裂進展速度 da/dN を増加させることがわかった。したがって、このような負荷に対し、遠藤らが提案した等価応力 Δ を用いることで、き裂の進展方向の予測が可能であることを明らかにした。また、最大応力拡大係数 $K_{I, \Delta, \max}$ を用いれば、静的せん断応力の有無に関係なく、き裂進展速度 da/dN を統一的に整理できることを明らかにした。